



МИНИСТЕРСТВО НА ОТБРАНАТА
ИНСТИТУТ ПО ОТБРАНА „ПРОФЕСОР ЦВЕТАН
ЛАЗАРОВ”

ДИЛЯН НАНКОВ НЕДЕЛЧЕВ

АВТОРЕФЕРАТ

ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен

“Доктор”

на тема:

Повишаване на достоверността на оценката на техническото
състояние на авиационните средства за поразяване в процеса им на
удължаване на срока им на годност

Област на висшето 5. Технически науки
образование

Професионално 5.1. Машинно инженерство
направление

Докторска програма Динамика, балистика и управление на
полета на летателни апарати

СОФИЯ
2021 г.

Дисертационният труд е структуриран в увод, три глави, заключение и общи изводи, списък на свързаните с дисертацията публикации, списък на други документи свързани с дисертационния труд; използвана литература и приложения.

В първа глава е направен анализ на съществуващите практики за мониторинг годността на боеприпаси в НАТО и на национално ниво, както и приложими съществуващи стандартизирани, валидирани и верифицирани подходи и методи за определяне на остатъчния срок на годност;

Във втора глава е представен подход за удължаване на срока на годност на АСП, като са анализирани факторите и процесите влияещи върху годността и безопасността на АСП при тяхната експлоатация. На базата на сравнителен анализ прогнозираните механизми за тези деградационни процеси са транспонирани върху прогнозата за очакваните откази;

В трета глава е представено опитното прилагане на представения във втора глава подход с използването на нови методи на национално ниво за изпитване и оценка на тяхната приложимост и адекватност. Поместени са по-важните резултати от изследванията със съответните анализ, изводи и препоръки за бъдещо развитие.

В заключението са представени основните изводи и резултати на настоящата работа.

Дисертационният труд съдържа 130 страници (160 страници с приложенията).

Броят на фигурите в основната част е 34, а на таблиците - 44.

Номерирането на главите, фигурите, таблиците, формулите и цитираната литература и списъкът ѝ в автореферата съответстват на тази в дисертационния труд.

Автор: майор инженер Дилян Неделчев

Ръководител: полковник доц. д.н. Борислав Генов

Заглавие: Повишаване на достоверността на оценката на техническото състояние на авиационните средства за поразяване в процеса им на удължаване на срока им на годност.

СЪДЪРЖАНИЕ:

УВОД	6
ГЛАВА I. АНАЛИЗ НА СЪЩЕСТВУВАЩИТЕ ПРАКТИКИ, ПОДХОДИ И МЕТОДИ ЗА МОНИТОРИНГ НА ТЕХНИЧЕСКОТО СЪСТОЯНИЕ НА БОЕПРИПАСИТЕ	10
ГЛАВА II. ПОДХОД ПРИ УДЪЛЖАВАНЕ СРОКА НА ГОДНОСТ НА АВИАЦИОННИ СРЕДСТВА ЗА ПОРАЗЯВАНЕ	33
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	74
НАУЧНИ, НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ	78
СЪКРАЩЕНИЯ	79
АВТОРСКИ ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА	81
ДРУГИ АВТОРСКИ И СЪАВТОРСКИ ДОКУМЕНТИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	81
УЧЕБНИ ПОСОБИЯ И ЛЕКЦИИ.....	81
НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИ ДОКУМЕНТИ	81
СТАНОВИЩА, АНАЛИЗИ И ЕКСПЕРТИЗИ	82
УЧАСТИЕ НА АВТОРА В НАУЧНОИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ ПРОЕКТИ	82

**„Ако не можем да опишем като процес това,
което правим, значи не знаем какво точно
правим”**

Уилям Е. Деминг

УВОД

Авиационното въоръжение и в частност авиационните средства за поразяване¹ (АСП), представляват неделима част от бойни авиационни комплекси (БАК). Последните образци АСП (с някои изключения за АБ) са постъпили на въоръжение във Военновъздушните сили през далечната 1991 г. Предвид зададените от производителите „гарантиран срок на годност” или „определен технически ресурс²” (от порядъка между 8 и 20 г.), в който се гарантира запазването на зададените тактико-технически характеристики на боеприпаса, то определения срок на годност на всички АСП, намиращи се в разположение на ВВС е изтекъл. Предвид създадената ситуация съществуват две принципни възможности за действие: 1) закупуване на нови боеприпаси и снемане от употреба (продажба или демилитаризиране³) на старите или 2) търсене на възможности за удължаване на тяхната годност (срока им на експлоатация/служба)⁴ в границите на тяхната безопасна експлоатация.

¹ **Авиационни средства за поразяване** – авиационни боеприпаси с основно назначение, предназначени за непосредствено въздействие върху въздушни, наземни и морски цели, с цел нанасяне на разрушение или извеждане от строя, чрез поразяващото действие на взрив, удар или огън.

В дисертационния труд терминът „авиационни средства за поразяване” се използва като събирателно понятие за всички продукти използвани в бойната авиацията, съдържащи в състава си взривни вещества и/или пиротехнически състави, инициращи химична реакция (без ядрена и биологическа).

² Под **технически (определен) ресурс (срок на служба)** се разбира определената работа в часове или календарната продължителност на експлоатация на авиационната техника (в това число и АСП), при достигането на която експлоатацията ѝ трябва да бъде прекратена независимо от нейното техническо състояние. [19]

³ **Демилитаризиране** - Акт на премахване или неутрализиране на първоначалния потенциал за военни цели на боеприпаса. Тази неутрализация трябва да се извършва по безопасен, икономически ефективен, практичен и щадящ околната среда подход. Демилитаризацията е необходима стъпка за боеприпасите с военно предназначение преди реализацията им за граждански цели. (АОР-4518)

⁴ **Срок на експлоатация (служба, годност, Service Life)** - времето, за което може да се очаква, че боеприпас, съхраняван при определени условия и впоследствие използван при бойни или тренировъчни условия, ще остане безопасен и подходящ за използване по предназначение. Срокът на експлоатация включва сроковете за съхранение (**Storage Life, Shelf life**) и използване (**Operational Life**) [адаптирано от 79]. В дисертационният труд, въпреки неговата неадекватна приложимост към АСП, ще бъде използван термина срок на годност, поради дефинирането му в националното законодателство [18].

Първата алтернатива е свързана с изключително високи разходи, които в средата на икономическа неосигуреност на ВВС и значително краткия период предвиден за експлоатация на ново закупените боеприпаси към днешна дата е неприемлив, предвид предстоящото снемане на въздухоплавателните средства от въоръжение. Предвид този факт следва да се търсят възможности за максимално припокриване на момента на снемане от въоръжение на въздухоплавателните средства и изчерпване на запасите. *Втората алтернатива* позволява изчерпването на пълния ресурс на АСП, но крие рискове от непрогнозирана промяна на тяхното техническо състояние, което може да доведе до опасност за живота на обслужващия персонал и авиационната техника. При избор на втората алтернатива е необходимо използването на научен подход, осигуряващ всестранно изследване на техническото състояние на АСП и набелязване на комплекс от мероприятия, необходими за изпълнение при експлоатацията им в периода на удължен срок на годност. Като логичен избор тази алтернатива е свързана с оценка на въздействието на многообразните външни въздействащи фактори и настъпващите в следствие на тях промени на параметрите на АСП.

Това доказва еднозначно **актуалността** на разглежданата в дисертационния труд проблематика и наложителността на базата на съществуващите практики и способности, използвайки натрупания опит да се създадат приложими подходи за повишаване на достоверността на оценката на техническото състояние на АСП в процеса на удължаване на срока им на годност.

При тази формулировка **обект** на дисертационния труд е подходът за оценка техническото състояние на АСП разгледано в рамките на процеса на удължаване на срока им на годност, а **предмет** на настоящото изследване е повишаване на достоверността на тази оценката на техническото им състояние. От своя страна, така дефинираните обект и предмет на дисертационния труд предполагат да бъдат определени целта и задачите на дисертационния труд:

Цел на настоящето изследване е посредством използване на съвременни подходи и методи да се повиши достоверността на оценката на техническото състояние на АСП в процеса им на удължаване на срока им на годност. Целта ще бъде постигната посредством реализирането на следните **задачи**:

1) Извършване на сравнителен анализ на международните и националните практики и подходи при оценка на техническото състояние на боеприпаси, като се дефинират основни насоки за повишаване на достоверността;

2) Формулиране на подход за оценка на техническото състояние на АСП при удължаване срока им на годност;

3) Анализиране на факторите и процесите влияещи върху годността на АСП на въоръжение във Военновъздушните сили и определяне на подходящите за използване методи за оценка на техническото им състояние;

4) Експериментално прилагане на формулирания подход с използването на нови и перспективни методи за оценка на техническото състояние на АСП, като се оцени адекватността и приложимостта им съвместно с вече използваните такива.

При разработването на дисертационния труд са направени следните **основни допускания**:

1) Материалите и елементите от състава на разглежданите АСП е коректно представена на базата на съществуващата техническа документация;

2) Наличната информация в специализираната литература е достоверна. Като специализирани литературни източници са използвани публикации и стандарти на НАТО, свързани с жизнения цикъл на боеприпасите, регламентиращи документи в областта на национално ниво и научни доклади от научни конференции и статии в специализирани списания.

Областта на разглежданата проблематика е изключително обширна и обема на дисертационния труд не позволява разглеждане на всички ѝ аспекти, затова е необходимо въвеждането на определени ограничения. Поради чувствителността на информацията в разглежданата област в дисертационния труд не фигурират конкретни резултати, касаещи техническото състояние на АСП от войсковите и оперативните запаси или друг вид информация, представляваща служебна тайна, по смисъла на действащите нормативни документи. По този начин, се налагат следните, **ограничения** в процеса на разработване на дисертационния труд, които няма да повлияят на поставените цели и задачи:

1) За целите на настоящото изследване ще бъде разгледана единствено фаза „Експлоатация“ от жизнения цикъл на отбранителните продукти АСП;

2) В изследването се разглеждат само АСП на въоръжение и в разположение на ВВС;

3) Детайлното изследването ще бъде насочено само към АУР „въздух-въздух“, като най-сложни и критични за боеспособността на ВВС. Получените изводи ще са приложими за останалите типове АСП;

4) Не са поместват данни или резултати, които представляват класифицирана информация;

5) Подходите за повишаване на достоверността на оценката на техническото състояние на АСП в процеса на удължаване на срока им на годност е ограничен от научната специалност на дисертационния труд, като няма да бъдат разглеждани в дълбочина съпровождащите административни процеси.

Независимо, че определен тип проблематика не попада в професионалното направление в което е разработен този труд, тя е детайлно анализирана. Същевременно, проблеми, като несъвършенство на нормативната база и такива с организационен характер са с критично значение, поради което те също са засегнати.

Направените ограничения не намаляват стойността на дисертационния труд, като успешната реализация на поставените цели и задачи би **допринесла** за:

1) Промяна на съществуващата концепция за удължаване на срока на годност на боеприпаси в национален мащаб;

2) Въвеждане на достоверни, даващи повече информативни характеристики методи за контрол/изпитване, позволяващи прогнозиране на техническото състояние на АСП;

3) Намаляване на разходите за жизнения цикъл на АСП.

Получените резултати от дисертационния труд са **предназначени** за използване от Министерството на отбраната, Командването на Военновъздушните сили, Института по отбрана „Професор Цветан Лазаров“ и фирмите от отбранителната промишленост, имащи отношение към функционални изпитвания на боеприпаси.

ГЛАВА I. АНАЛИЗ НА СЪЩЕСТВУВАЩИТЕ ПРАКТИКИ, ПОДХОДИ И МЕТОДИ ЗА МОНИТОРИНГ НА ТЕХНИЧЕСКОТО СЪСТОЯНИЕ НА БОЕПРИПАСИТЕ

1. Общи положения

Техническото състояние на АСП е един от основните фактори при планиране на разходите за остатъчния жизнен цикъл на БАК. От управленска гледна точка, съвкупността от фактори с икономически, технически, а и дори стратегически генезис предполага изграждането на надеждно функционираща система за управление на жизнения цикъл на АСП, даваща възможност за мотивирани решения в края на всеки негов етап.

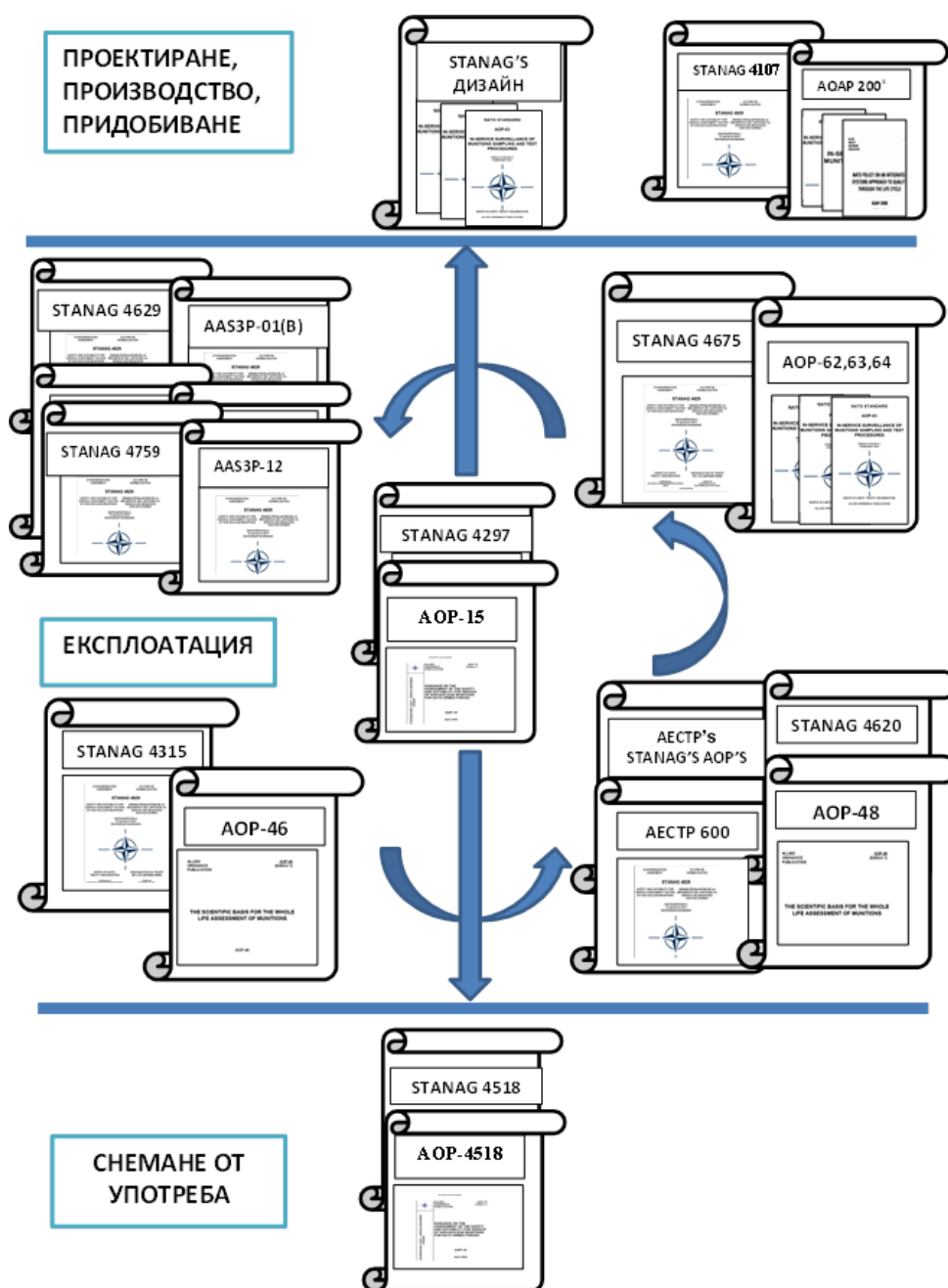
За целите на настоящото изследване, при спазване на по-горе въведените допускания и ограничения, ще бъде разгледана и анализирана единствено фаза „Експлоатация“ от жизнения цикъл на отбранителните продукти АСП. В настоящата глава на дисертационния труд ще бъде извършен сравнителен анализ на съществуващите международни и национални практики и подходи за мониторинг на техническото състояние и приложните методи за изпитване на годността на АСП, като е разгледана тяхната приложимост.

2. Анализ на съществуващите практики за мониторинг на техническото състояние на боеприпасите в НАТО и на национално ниво

При анализа на съществуващите практики, ще се разгледа обстойно изградената система за управление на жизнения цикъл на боеприпасите в НАТО. В основата на тази система се използват научни подходи, с отчитане на всички специфични особености на боеприпасите, използвани от оръжейните системи на страните членки [цитат от 6]. Нормативно, редът за съхранение, експлоатация и оценка на техническото състоянието на боеприпасите в НАТО се регламентира чрез групи от съюзнически стандартизиращи споразумения STANAG's, въвеждащи в изпълнение публикации AOP, AAS3P, AASTP, АЕСТР⁵ (Фиг.1.2.). Основополагащият документ е споразумението за осигуряване на безопасността на боеприпасите в експлоатация STANAG 4297 [107], който въвежда AOP-15 [75], като унифицирано ръководство за контрол на

⁵ Пълният списък от съюзнически стандартизиращи документи може да бъде открит на електронен адрес [145].

безопасността и годността на неядрените боеприпаси, използвани от въоръжените сили на НАТО. AOP-15 посочва критерии и принципи за разработване на подсистеми и компоненти за системата S3⁶ и представя методология за идентифициране и намаляване на рисковете, свързани с боеприпасите.



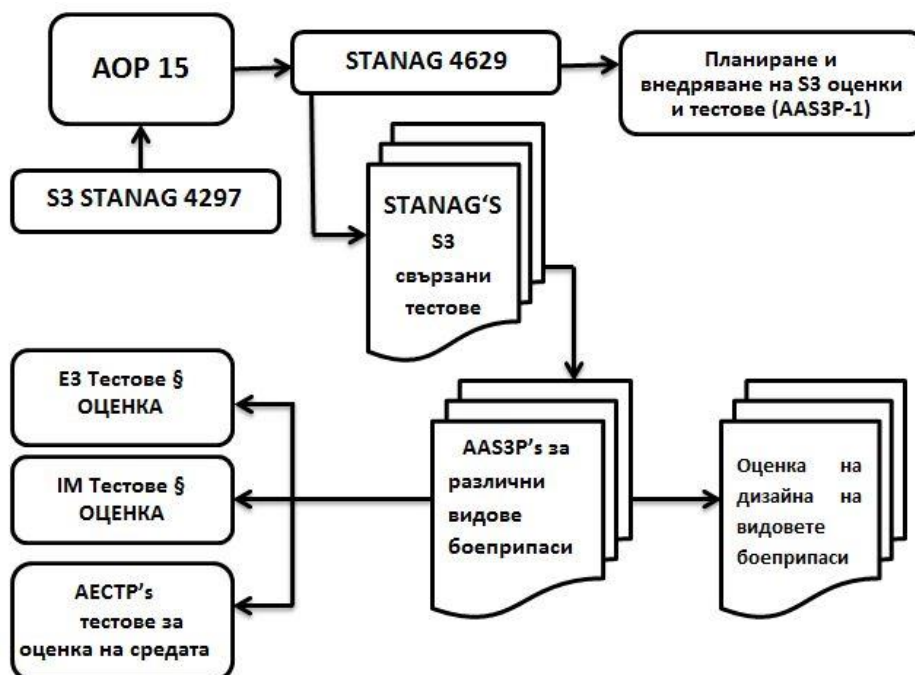
Фиг. 1.2. Основни стандартизиращи споразумения и публикации, свързани с жизнения цикъл на боеприпасите

⁶ „Safety and Suitability for Service” - безопасни и годни за експлоатация.

Основополагащ документ за оценката на възможността за удължаване срока на годност е съюзническата публикация AOP-46 [74,79]. Публикацията дава научния фундамент и методология за оценката и възможността за продължаване на експлоатацията на боеприпасите в НАТО и определяне на целия жизнен цикъл на боеприпаса. Съюзническата публикация AOP-48 [82] указва процедурите и изискванията за изпитванията за стабилност на експлозиви, произведени на основата на нитроцелулоза.

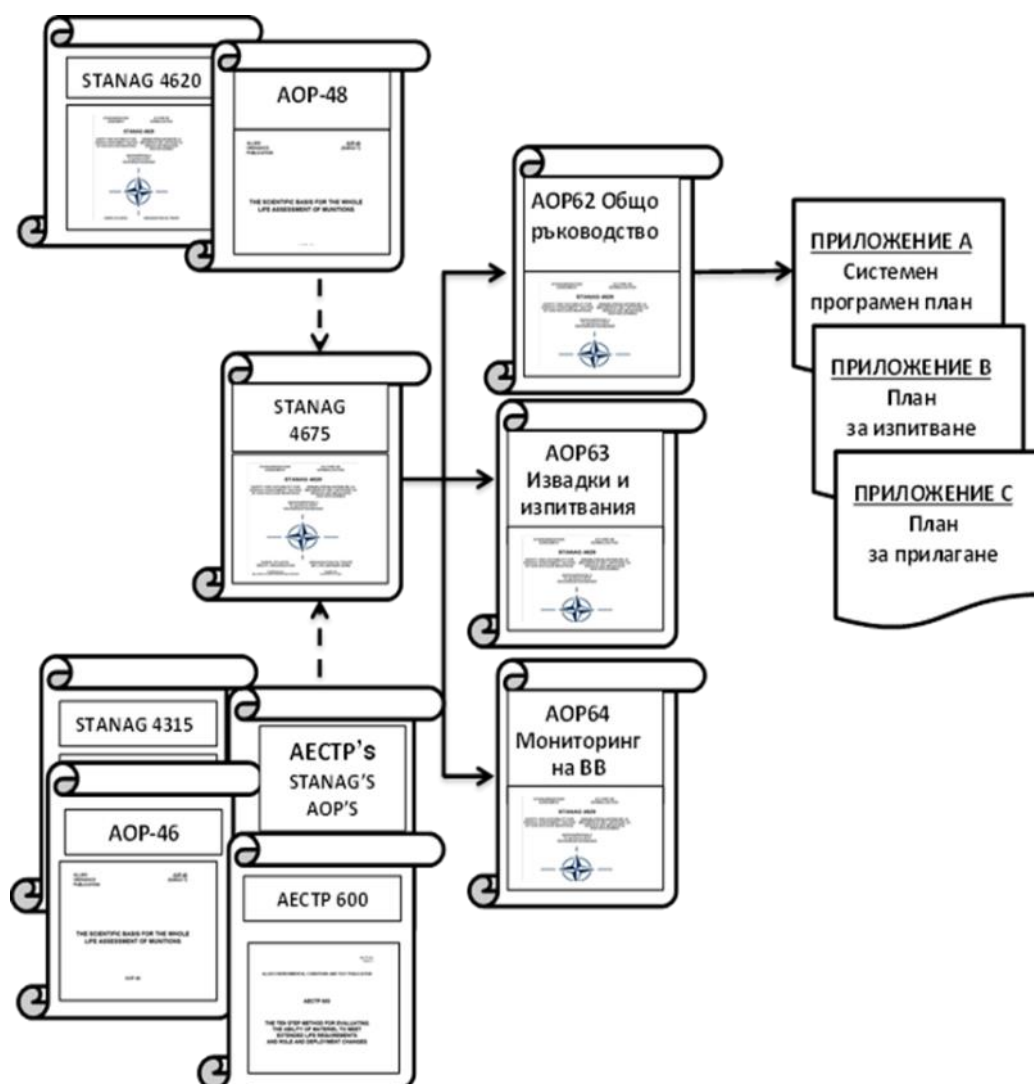
В системата от стандарти на НАТО касаещи жизнения цикъл на боеприпасите, съществува и възможност за промяна на предназначението на боеприпаса с използването на десет стъпков модел за оценка възможността на материалите да посрещнат изискванията при удължен срок на годност или промяна в предназначението им, представен в АЕСТР 600 [73].

В фаза „Експлоатация“. STANAG 4629 е документът, който въвежда серията AAS3P's публикации. В тези специализирани публикации се дефинират необходимите процедури, тестове и изисквания на които трябва да отговарят различните видове боеприпаси по време на експлоатацията по отношение на системата S3. На Фиг.1.3. е представена взаимовръзката от фамилията документи S3.



Фиг. 1.3. Фамилия S3 свързани документи (адаптирано от [50])

STANAG 4675 въвежда серията от публикации AOP-62, AOP-63 и AOP-64 [85,86,87], на основа на поставените в AOP-46 принципи, както и използвайки специализирани публикации (АЕСТР-600, STANAG 4581 и др.), даващи приложни методи за изпитване на боеприпаси и техните компоненти. Изброените публикации, въведени със STANAG 4675, задават политиката на НАТО за мониторинг при експлоатация на боеприпаси (ISS⁷) (Фиг.1.4.):



Фиг. 1.4. Фамилия ISS свързани документи

Предвид изложената информация, може да се заключи че в НАТО има изградена работеща система за оценка на безопасността и пригодността за използване по предназначение на боеприпасите при експлоатацията им. В основата на тази система се поставя точното определяне на периода на

⁷ ISS - In-Service Surveillance – мониторинг по време на експлоатация.

жизнения цикъл, като се въвежда периодичност от изпитвания и оценка на текущото им състояние в фаза „Експлоатация”.

До момента в Република България не се прилага нито един от представените стандартизационни документи, като причините са свързани с липса на изискващото се специализираното оборудване, способности за изпитвания и нормативна база за въвеждането на такава система. На национално ниво, регламентиращият нормативен документ, указващ реда за контрол на състоянието и движението на боеприпаси е „Наредба за условията и реда за осъществяване на дейностите, свързани с оръжията, боеприпасите, взривните вещества и пиротехническите изделия и контрола над тях в и от въоръжените сили на Република България” (за краткост Наредба) [18]. За съжаление несъвършенствата в цитираната Наредба и липсата на съпътстваща нормативна база водят до следните, особено проблемни въпроси в областта на бойните припаси:

- липсва цялостна система обхващаща процедирането с бойните припаси през всички им фази на жизнения цикъл;
- няма конкретни препратки към действащи нормативни документи на техническо ниво – правилници (правила), ръководства, стандарти, инструкции и др.; последните не са осъвременени;
- не се отчитат особеностите в експлоатацията на специализирани боеприпаси във ВВС и ВМС;
- неясен остава въпроса с категориите на боеприпасите, което внася допълнителна комплицираност в процесите свързани с движението им в експлоатацията;
- липсва утвърден речник на термините, свързани с жизнения цикъл на боеприпасите, като примерно АОР-38 за НАТО; този факт е предпоставка за затруднена комуникация между експертите от различните видове въоръжени сили и структурите в МО;
- съществуващата система за водене на отчет на боеприпасите следи преди всичко тяхната наличност, но не съществува координация и контрол от най-високо ниво за установяване на безопасността и годността им за използване по предназначение.

При разглеждане процеса на удължаване на срока на годност на АСП във ВВС се установява, че до 2005 г. във ВВС не са извършвани изпитвания на АСП, а удължаването на срока им на годност се е извършвал на база опита от експлоатацията и получени резултати от изпитвания в Руската Федерация и Беларус. Едва през 2006 г. започва процес по въвеждането на научни и научно-приложни методи за оценка на възможността за удължаване срока на годност на АУР [АП1]. През 2013 г. се издава съвместна заповед на командира на ВВС с № РД-714/25.11.2013 г. и на директора на Института по отбрана „Професор Цветан Лазаров“ с № 258/25.11.2013 г., която на основание Наредба № 21/14.06.2010 г. за сертификация на летателната годност на ВоВС, създава ред за изпитване и удължаване на ресурса на авиационна техника⁸. По този ред е извършено удължаване на срока на годност на отделни партии ПТУР-9М114, АУР – Р-60МК, Р-72 и Р-27Р1, пиропатрони ППЛ и ППЛ-Т и 30mm ОФЗ, БТ и БР авиационни патрони. Независимо от това, действащият ред за удължаване на срока на годност се откроява с изключителната сложност, като решава част от съществуващите проблеми и то само в краткосрочен план.

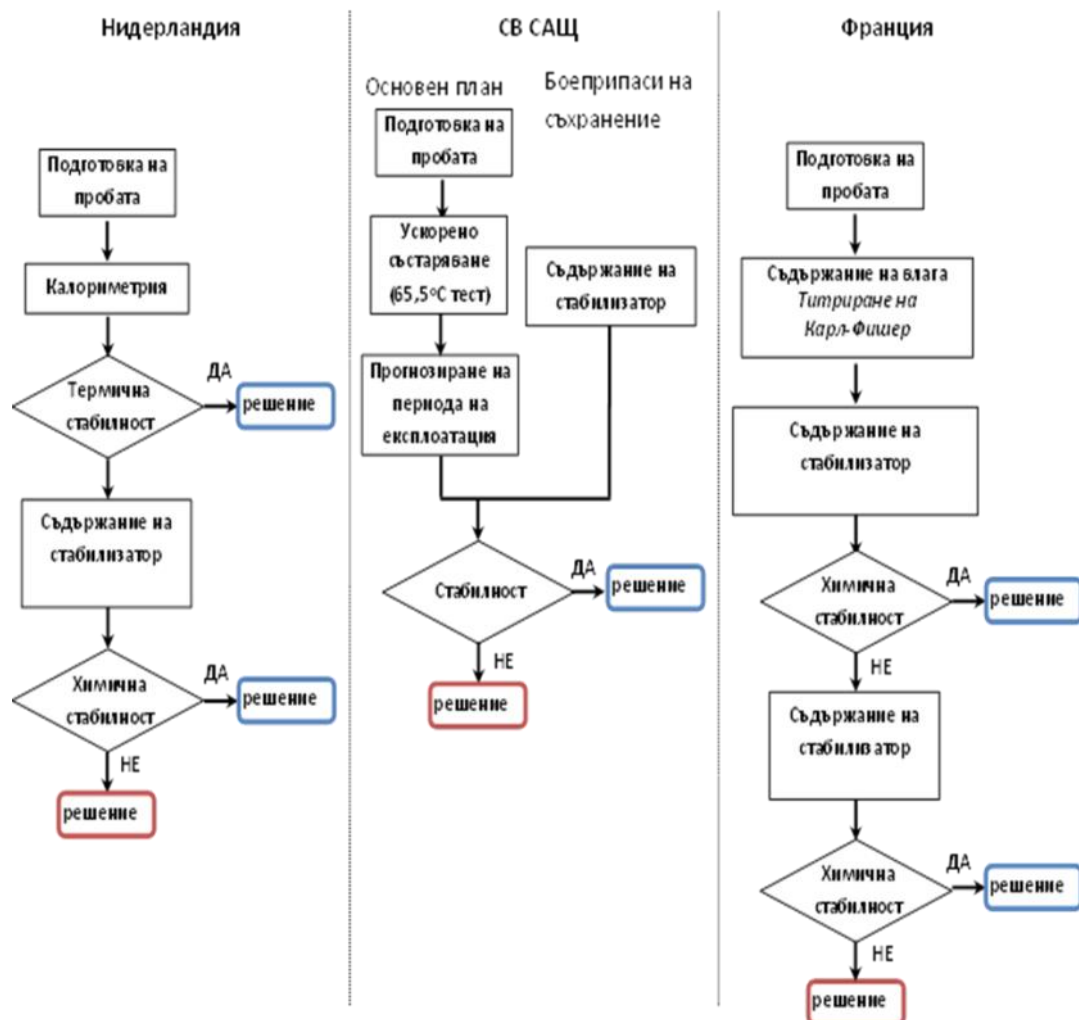
В допълнение, поради липсата на финансови средства и ресурси се извършват изпитвания и оценка на годността само на най-важните за бойна подготовка и готовност АСП и то от малък процент партии. Остава открит въпроса за реалното състояние на всички намиращи се все още на въоръжение АСП и в каква степен те са безопасни за съхранение и пригодни за използване по предназначение. Абсолютно наложителната е промяната на използвания в момента подход, като се въведат перспективни стандартизирани, валидирани и верифицирани подходи и методи за определяне на остатъчния срок на годност.

3. Анализ на съществуващите и перспективните стандартизирани, валидирани и верифицирани подходи и методи за определяне на остатъчния срок на годност

Фундаментално, в основата на оценката на годността на АСП, независимо от типа и сложността им, стои получаването на два основни отговора [12]:

⁸ Към авиационната техника се отнасят пилотираните и безпилотните летателни апарати и силовите им установки, оборудването и въоръжението, **авиационните средства за поразяване**, тренажорите и техническите средства за експлоатация и ремонт. [139]

- какво е моментното техническо състояние, чрез оценка на бойната ефективност и безопасност при експлоатация;
- какъв е остатъчният период на годност.



Фиг. 1.5. Подходи за удължаване на срока на годност на боеприпаси (адаптирано от [86])

В специализираната литература [86] са представени подходи, използвани от различни водещи в областта нации, като най-често като маркер за бъдещото състояние на боеприпасите, съдържащи в състава си бездимни барути, се използва съдържанието на стабилизатора в горивото (с или без ускорено състаряване). От представените на Фиг.1.5 подходи заслужава внимание използвания от САЩ подход при изпитвания на боеприпасите с използването на изкуствено състаряване и прогнозиране на бъдещия период на годност. Този подход е подробно разгледан в АОР-46 и дава предварителна информация за тяхното състояние след определен период от време, което служи за вземане на мотивирано решение. В основата на този подход е подлагането на боеприпаса

или неговите отделни критични елементи на условия, имитиращи въздействието на околната среда и външни фактори след което се извършва оценка на достигнатите нива на енергията на активиране на отказите [74, 79, 108]. При този подход, за определяне на настъпващите с времето деструктивни процеси, свързани с протичащи химични реакции, се използва зависимостта на енергията на активиране на отказа от въздействащата температурата. Тази зависимост може да се представи чрез уравнението на Арениус.

Анализът на специализирана литература [25, 26, 31, 42, 83÷102, 135, 136, 138] позволява да бъдат систематизирани основните категории и **методи за изпитване на боеприпаси**. На Таблица 1.2. са представени основните категории и прилежащите към тях методи за изпитване на боеприпаси. Прави впечатление ниският процент методи, който се прилагат в българската армия. По мое мнение основния път за повишаване на достоверността на оценката на техническото състояние на АСП е въвеждането и използването на колкото е възможно повече от представените методи, като предварително се оцени тяхната адекватност, приложимост и възможност за пълноценно използване при анализиране на съотношението цена-количество/качество на получената информация. В съответствие с АОР-48, високоефективната течна хроматография, заедно с газовата хроматография и тънкослойната хроматография са предпочитани към момента методи за определяне на остатъчните стойности на стабилизатора и неговите производни, както и останалите елементи от състава. Тънкослойната хроматография се използва в Германия. Газовата хроматография се използва във Франция, като метод предшестваш високоефективната течна хроматография. Оценката на поглъщането на влага за всички взривни вещества се извършва обикновено с титруване на Карл-Фишер [82]. Калориметрията [135] е приложима за всички нитроцелулозни барути и стабилизаторите за тях [24].

Таблица 1.2. Основни категории и методи за изпитване на боеприпаси
(адаптирано от [86])

КАТЕГОРИЯ НА ИЗПИТВАНИЯТА	ВИД/МЕТОД НА ИЗПИТВАНИЯТА	БЕЛЕЖКА	ПРИЛАГАЛИ СЕ В БА
КОНТРОЛ БЕЗ РАЗРУШАВАНЕ (Вероятностни, основни тестове)	а) Физически преглед	Използват се за проверка в процеса на експлоатация и за определяне на представителната извадка	ДА
	б) Радиографски методи - X-лъчение, гама и неутрони частици		НЕ
	в) Снимка-аксиална томография		НЕ
	г) Ултразвуков метод - лазерен и пиезоелектричен		НЕ
	д) Интерферентен метод - холограма		НЕ
	е) Ендоскопски метод		ДА
	ж) Апаратурна проверка		ДА
КОНТРОЛ БЕЗ РАЗРУШАВАНЕ (мониторинг)	а) Записване на околните въздействия (темпл., влажн., вибрации и т.н.)	Използват се наблюдение на цялата експлоатация и определяне на представителната извадка	НЕ
	б) Система за наблюдение на изправността		НЕ
	в) Вградени сензори		НЕ
	г) Записване на използването (пр: време за полет)		ДА
ДЕСТРУКТИВЕН КОНТРОЛ (основни и прогнозиращи тестове)	а) Тестове за безопасност	Използват се определяне на основните изисквания за ISS в зависимост от състоянието на боеприпаса	НЕ
	б) Механични тестове (вкл. динамично механични анализи)		НЕ
	в) Термични тестове - микрокалometрия		ДА
	г) Климатични тестове (климатография и др.)		НЕ
	д) Тестове за работоспособност-пр. запуск на БРД		ДА
	е) Предвиждане на деструктивните процеси във взривните вещества		НЕ
	ж) Бойни стрелби		ДА
СИСТЕМНИ ТЕСТОВЕ И МОДЕЛИРАНЕ НА ЖИВОТА (прогнозиращи тестове)	а) Ниво боеприпас-ускоряващи възраста тестове-дневни цикли	Използват се при удължаване срока на служба забл: а, б и в могат да се изпълняват последователно	ДА
	б) Ниво боеприпас-ускоряващи възраста тестове-транспорт, тактически вибрации и сътресения		НЕ
	в) Ниво боеприпас-ускоряващи възраста тестове-деструктивни тестове на екстремни температури		НЕ
	г) Мониторинг на естественото състаряване на материалите (моделиране на съхранението)		НЕ
	д) Мониторинг на естественото състаряване на материалите (моделиране на съхранението)		НЕ

Тестовите с цикличното ускорено състаряване осигуряват прогноза на остатъчния период на стабилност са с висока сложност, и заемат ключово значение, позволявайки на базата на различни температури (обикновено в границата 40°C и 80°C) и различни времеви интервали (от дни до години) да „моделират“ многогодишното поведение на взривните вещества в

боеприпасите, като се изследват предизвиканите от ускореното състаряване промени. Последващите кинетичен анализ и оценка по закона на Арениус [79] води до прогноза за запаса от годност при стандартни температури на съхранение. Анализирайки тестовете от този тип, лесно може да се достигне до извода, че всички те изискват значителна експертиза, продължителни са и със значителна стойност. Това ги прави оправдани най-вече при новоразработени и новопроизведени видове взривни вещества в ранните фази на жизнения цикъл на боеприпасите.

Опростяване на процедурите се осъществява при т.нар. ускорено състаряване при константна температура (обикновено между 60 и 100°C) [76]. То се извършва в един цикъл. Конвенционалните тестове при висока температура (обикновено между 90°C и 140°C) се провеждат за къс период (до няколко дни) и не позволяват прогноза за остатъчния срок на годност. Тук няма ускорено състаряване, отговарящо на определен период време за съхранение. Единствено се получава резултат от типа – „годен“ или „негоден“ (респективно „стабилен“ или „нестабилнен“), което ограничава приложението на този тип тестове единствено за освидетелстване на зарядите на боеприпаси, които са вече в режим на съхранение. Към настоящия момент това са единствените тестове които се извършват в българската армия, съгласно стандартизиран тест, описан в Приложение 43 на Правилник за складовете и базите за съхранение, производство, ремонт, разснарядяване и унищожаване на бойни припаси, взривни вещества и барути в БНА от 1983 г. [20].

При тестовете при нормални температури⁹ се извършва единствено химически анализ на състава или изпитване на функционалност, което дава информация за моментното състояние. По този начин, ако имаме информация от такъв тип изпитване, тя не следва да се използва за прогнозиране на остатъчния срок на годност. Изключение може да се направи, ако имаме достоверни резултати (мониторинг) от изпитвания за няколко години, които да се екстраполират/интерполират.

⁹ В англоезичната литература тези тестове са известни като „snapshot tests“.

Както е добре известно в състава на съвременните АУР широко се използват хетерогенни композитни или наречени още смесиви твърди ракетни горива (СТРГ). Най-общо съвременните смесиви горива могат да бъдат описани като смес от твърд окислител (напр. амониев перхлорат), горими вещества като алуминий на прах и синтетичен каучук с функционални групи (свързващи вещества), както и различни видове пластификатори, антиоксиданти и други добавки. Към този вид горива се предявява широк кръг от изисквания, които най-общо могат да се разделят на три основни групи: балистични, физико-механичните и химически.

Добрите практики показват изпитването на балистичните характеристики на барутните ракетни двигатели (БРД)¹⁰ като основен метод за оценка на техническото им състояние. Този вид изпитвания се извършват на специално разработени за целта установки, които позволяват безопасно привеждане на БРД в работен режим и дистанционно снемане на данните. Основните параметри удостоверяващи текущото състояние на горивото, респективно и на БРД са тягата (1.1) [1], специфичен импулс на тягата (1.2) [1] и графичното представяне на изменението на тягата във функция от времето [1].

$$P = \dot{m} \cdot w_a + f_{\text{изх.}} \cdot (p_{\text{изх.}} - p) \quad (1.1)$$

Където: P е силата на тягата в N ;

$\dot{m}$ - секундният масов разход на горивото kg/s ;

w_a - скоростта на изтичане на газовете през соплото в m/s ;

$f_{\text{изх.}}$ - площта на изходното сечение на соплото в m^2 ;

$p_{\text{изх.}}$ - налягането на изхода от соплото в N/m^2 ;

p - атмосферното налягане в N/m^2 .

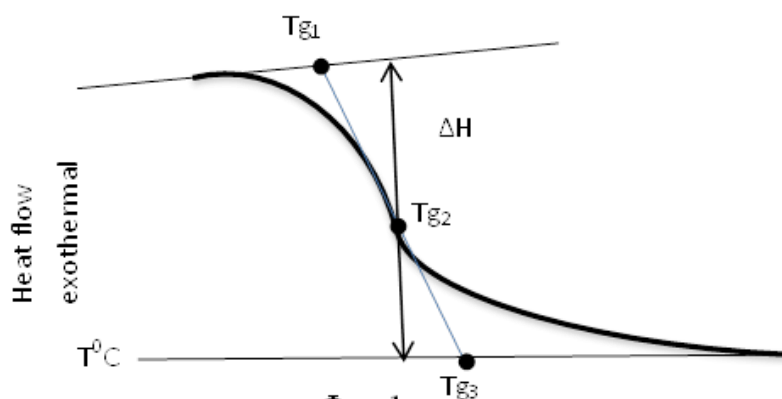
Тягата (P) и скоростта на изтичане на газовете през соплото - w_a са тясно свързани с една от основните величини в ракетната техника, величината специфичен импулс на тягата ($J_{\text{сп.}}$). Тази величина се изразява чрез отношението на тягата и пълният секунден разход на гориво:

$$J_{\text{сп.}} = P / \dot{m} \quad \text{или} \quad J_{\text{сп.}} = w_a + f_{\text{изх.}} \cdot (p_{\text{изх.}} - p) / \dot{m} \quad (1.2)$$

¹⁰ Използвания термин БРД представлява събирателен образ на всички видове авиационни двигатели с твърдо гориво, без да се отчита вида на горивото.

Където: $J_{\text{сп.}}$ е специфичният импулс на тягата в N.s/kg ($9.81\text{N.s/kg} = 1\text{kgf.s/kg}$).

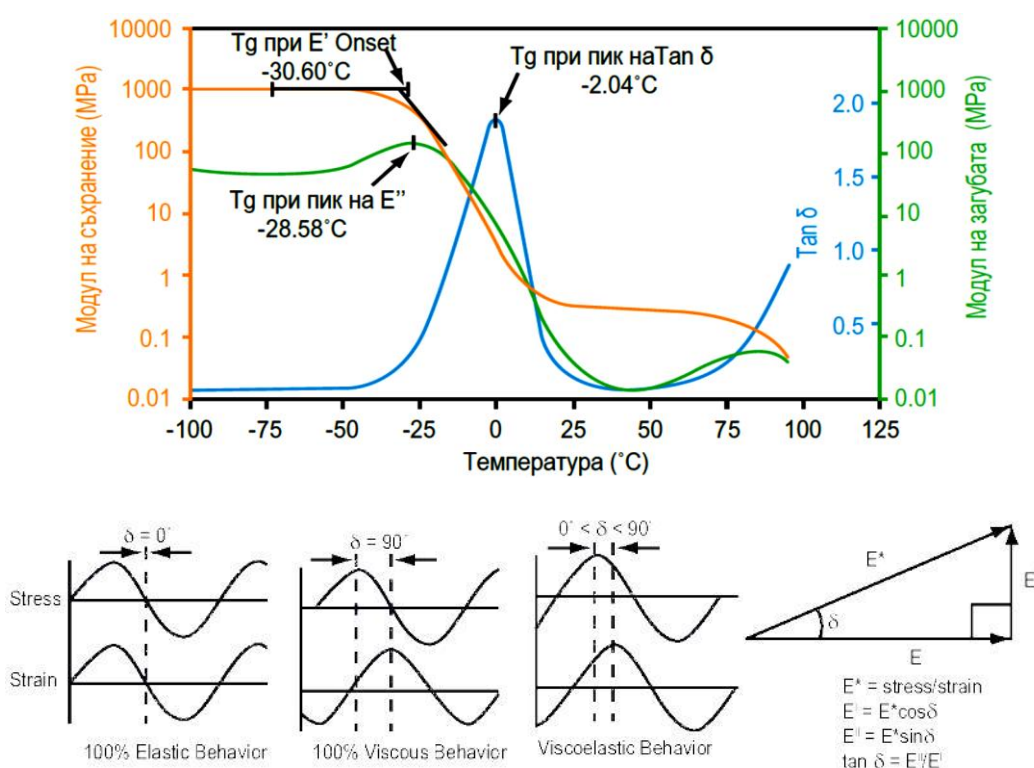
Поради значителният процент полимери използвани в състава на смесевите ракетни горива те могат да бъдат причислени към групата на вискоеластичните полимерни материали, с техните вискоеластични (физико-механични) свойства, подобни на тези на общите полимери [АП5]. Прехода на встъкляване се счита за основен фазов преход при полимерите, което води до значителни промени във физико-механичните свойства на материала, тъй като той преминава от твърдо стъклоподобно в каучуково състояние. За материали, за които твърдостта и здравината са най-важните функционални характеристики, температурата на встъкляване определя горната и долната граница на тяхната приложимост. Специализираната литература [146] представя като приложими за изпитване на физикомеханичните свойства и определяне на температурата на встъкляване на смесевите горива методите на динамично механичния анализ (DMA) и диференциално сканираща калометрия (DSC).



Фиг. 1.8. Определянето на фазовия преход при DSC

При извършване на изпитване с DSC се следи за промяната на топлинния капацитет на пробата, като при преминаване през температурата на встъкляване се наблюдава непрекъснато му увеличаване. Определянето на фазовия преход е свързано с измерване на следните три температури (Фиг.1.8): Tg1 - на пресечната точка на регресионната линия от старта на процеса с тангенса на инфлексията, Tg2 - в точката, в която преходът на пробата е 50% завършен и Tg3 на пресечната точка на допирателната на огъване с регресионната линия след прехода. Регресионните линии се изчисляват преди и след прехода. Съгласно [146] за температура на встъкляване се приема Tg2.

DMA измерва вискоеластичните свойства, използвайки преходни или динамични осцилаторни тестове, при които се измерва фазовата разлика (δ), между двете синусоиди. Фазовото забавяне ще бъде 0° за чисто еластични материали и 90° за чисто вискозни материали. Вискоеластичните материали обаче (напр. смесевото гориво) ще показват междинна фазова разлика. Тъй като модулът е равен на отношението на напрежението към деформацията, може да се изчисли комплексният модул E^* , а от E^* и измервания ъгъл δ , модула за съхранение (на натрупване на енергия) E' и модула на механични загуби E'' (Фиг.1.9.).



Фиг. 1.9. Преход от встъклено към вискоеластично състояние и формиране на междинна фазова разлика при DMA (адаптирано от [128])

Модулът за съхранение (E') е еластичен компонент и е свързан с твърдостта на пробата (запас от еластичност). Модулът на загубата E'' представлява вискозен компонент и е свързан със способността на пробата да разсейва механична енергия чрез молекулярно движение. Тангенсът на фазовата разлика, или $\tan \delta$, е друг често срещан параметър, който предоставя информация за връзката между еластичните и нееластичните компоненти. Прехода от встъклено към вискоеластично състояние на вискоеластичните материали се идентифицира с рязкото намаляване на модула на съхранение E'

и съответната дисперсия на загубите E'' или $\tan \delta$, които се появяват при T_g , както е показано на Фиг. 1.9. Задължително е да се подчертае, че прехода на встъкляване не се случва при определена температура, а в температурен диапазон. Очевидно е, че има разлики на стойността на температурата в изброените точки, определящи прехода и това често води до объркване в литературата. Най-често критерият за избор на T_g от данните на DMA е или пикът в модула на загуба E'' , или пикът в $\tan \delta$. И двете принципно са валидни, но специализираната литература в НАТО [130] ясно дефинира температурата на настъпване на пикът на E'' да се използва като температура на встъкляване T_g . Температурата на встъкляване на твърдите ракетни горива, както беше вече отбелязано е особено важна за тяхната устойчивост на динамични натоварвания по време на запуск и самостоятелен полет на АУР, при много ниски температури. За твърдите ракетни горива площта на фазовия преход се приема за граница на тяхното използване [144].

В специализираната литература, инфрачервената спектроскопия (ИЧ) се разглежда като сравнително не скъпа и бърза технология за анализ на вискоеластичните полимерни материали. Инфрачервената спектроскопия с използване на инфрачервена трансформация на Фурие, позволява по броя и разположението на пиковете в ИЧ спектри на поглъщане да се направят изводи за природата на веществото (качествен анализ), а по интензитета на поглъщане за количеството на даденото вещество (количествен анализ). Техниката за обработка на данни, наречена преобразуване на Фурие, превръща тези сурови данни в желания резултат (спектр на пробата).

Приетият и широко използван в НАТО стандарт STANAG 4581 [134] предоставя методология за оценка на техническото състояние на смесевото гориво, използвайки принципите на ускорено стареене. Изпитванията на смесевото гориво, систематизирани от STANAG 4581, се разделят на химични и механични и се извършват след като пробите от горивото престоят в топлинна камера при константна температура 60°C за три и шест месеца, като по този начин се имитира 10 години експлоатация при средна температура 25°C. Видовите изпитвания на смесевото гориво съгласно STANAG 4581 са представени в Таблица 1.3.

Таблица 1.3. Изпитвания на смесово гориво, съгласно STANAG 4581

Вид	№	Изпитване	Стандарт	Поредност
Химични изпитвания	1A	Измерване на разтворимата фракция	STANAG 4581	1 - след извличане на горивото; 2 - след 3 месеца престой в топлинна камера при 60°C 3 - след 6 месеца престой в топлинна камера при 60°C
	1B	Измерване на плътността на напречните връзки	STANAG 4581	
	1C	Измерване на съдържанието на антиоксиданти	STANAG 4581	
	1D	Измерване на съдържанието на пластификатора	STANAG 4581	
Механични изпитвания	2A	Едноаксиален тест за опън	STANAG 4506	
	2B	Динамичен механичен анализ (DMA)	STANAG 4540	
	2C	Измерване на твърдостта по Shore A	ASTM D2240-00	
Термични тестове		Диференциално сканираща калориметрия (DSC)	STANAG 4515	
		Диференциално термичен анализ (DTA)	STANAG 4515	
		Изпитвания за чувствителност (удар, триене, електростатичен разряд, термична чувствителност)	STANAG 4489, 4487, 4490, 4491	

Свързването на скоростта на деградация на механичното поведение със структурен анализ на крайните връзки е в основата на прогнозата за живота на смесовото гориво [40,42]. Важно е да се отбележи, че за изпитвания на смесово гориво в българската армия до момента липсват каквито и да е способности. С цел повишаване на достоверността на получените резултати е необходимо въвеждането и изпълнението на STANAG 4581 [103], където това е целесъобразно.

Относно изпитването на продукти и системи в тяхната цялост е интересен подхода, използван от някои производители на боеприпаси, използващи съветската методика М1-63. В методика М1-63 [16] е определена последователността от действия, необходими за имитирането на складово и/или полево съхранение. Съгласно М1-63 първоначално се определя профила на бъдеща експлоатация, след което се извършва ускорено състаряване на цялото изделие. След завършване на ускореното състаряване, изделията се подлагат на функционални изпитвания, резултатите от които дават информация за годността им да бъдат използвани по предназначение в бъдещ период.

Според специализираната литература [8] електронните и електрическите елементи притежаващи експоненциално разпределение на надеждността, притежават по-малък период на годност в сравнение с взривните вещества. От особена важност е прогнозирането на тяхната годност за АСП имащи в компановката си електронни блокове. По отношение на електронните блокове, стандартизиращи документи относно изпитвания с ускорено състаряване на електронни блокове са рядкост. През 80^{-те} години на миналия век, Народна Република България участва активно в СИБ¹¹ и разработването на военни стандарти, относно техническите изисквания, методите за контрол и изпитвания на апаратура, прибори и оборудване за военно използване. Такива са стандартите СТ В СЭВ 068-81, СТ В СЭВ 086-81 и СТ В СЭВ 070-81 [21,22,23]. Изпитвания на апаратурната част на АУР по стандарт СТ В СЭВ 070-8 са изключителни тежки, изискващи голямо количество специализирано оборудване и отнемащи продължително време. Това прави тези изпитвания с ниска икономическа ефективност, което не предполага използването им в процеса на освидетелстване на АУР.

Статистическите методи са средство за разкриване на тенденции в процеса на стареене на боеприпасите. Данните за техническото състояние (статистика за отказите) на авиационните боеприпаси е възможно да се използват при определяне на показателите им за техническата им готовност. За пример може да се използват АУР, при които е възможно да се определи средно статистически показател на надеждността на изпитваната партида, наричан „Коефициент на техническа готовност” ($K_{ТГ}$), който се определя по формулата [АП2]:

$$K_{ТГ} = 1 - \frac{t}{2T_{cp}} \quad (1.3.)$$

където:

t - средно време на експлоатация на АУР от дадената партида

T_{cp} - средно време на експлоатация на АУР от дадената партида до отказ.

За изчисляване на T_{cp} се използва следната формулата:

¹¹ СИБ-съвет за икономическа взаимопомощ.

$$T_{cp} = \frac{1}{n}(\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_k) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k \tau_j \quad (1.4)$$

където:

$j=1 \div k$ - продължителност на експлоатацията на j - та ракета от разглежданата партида. Времето се изчислява в месеци и се закръглява до най-близкото цяло число;

k - брой на ракетите в експлоатация от разглежданата партида;

n - сумарно количество на отказите на всички ракети за времето на експлоатация на разглежданата партида.

Коефициентът $K_{тр}$ определя очакваното количество изделия, от наблюдаваната партида, които ще са изправни в определен момент от време, в рамките на периода между две поредни изпитвания. За определяне на допустима долна граница на $K_{тр}$ може да се използва подхода с приемане на очакваните нива на качество за различни видове боеприпаси.

В Таблица 1.1. бяха обобщени основни категории и методи за изпитване на боеприпаси. Не може да не се забележи не прилагането на по-голямата част от методите за контрол без разрушаване на национално ниво. Различните методи за контрол без разрушаване се основават на физическите процеси на взаимодействие на физическо поле с обекта на контрол. От гледна точка на физическите явления, на които се основават, могат да бъдат разграничени четири основни типа безразрушителни тестове: радиационно, акустично, електромагнитно и оптично. Всеки от видовете контрол се разделят на методи според разглежданите характеристики (Таблица 1.5).

Основни видове дефекти, откривани с методите на безразрушаващ контрол: кухини, пукнатини (нарушения под формата на счупвания в полимерния материал), чужди примеси (структури, които се различават по състав от основния материал), шупливост (натрупване на малки кръгли кухини), отслоения (нарушения между взривното вещество и брониращия състав), разслоения (нарушения между брониращия състав и корпуса на боеприпаса).

Таблица 1.5. Основни методи за безразрушаващ контрол (АП2)

Вид на контрола	Методи за контрол		
	По характера на взаимодействие на физическото поле с обекта на контрол	По първичния информативен параметър	Чрез метода за получаване на първична информация
Радиационен	предавана радиация	плътност на потока	излъчване радиографски рентгенографски
Акустичен	предавана радиация отразена радиация импедансно собствени вибрации	амплитуда временен	пиезо-електричен
Вихро-токов	отразено поле	амплитуда фазов	параметричен
Оптически	отразено излъчване	амплитуда	визуален оптичен

Прилагането на тези методи е с висока цена, поради скъпото оборудване, но е напълно приложимо към особено критични елементи от състава на АСП, като например БРД от АУР. Всички изброени по горе дефекти е възможно да се появят в БРД и по този начин да предизвикат опасна промяна на режима му на работа, промяна която може да достигне до преминаване на процеса на горене в процес на детонация. Става ясно, че такава промяна съществено ще застраши живота на летателния екипаж и изправността на авиационната техника. В [2] са разяснени подробно евентуалните последици от разрастването на микропукнатини върху нормалната работа на БРД. В случая приложим е радиационния метод за безразрушаващ контрол.

Нужно е да се отбележи, че едно от основните правила, спазването на което определя нивото на достоверност на получените резултати е **правилното определяне на представителните извадки**¹² от образци за различните видове изпитвания. Обемът на тези извадки се основават предимно на статистически модели. За избор на обема на вероятностна извадка, специализираната литература [92] препоръчва да се използват международни и национални планове за вземане на извадки за контрол на

¹² Има се предвид група образци, определени за извършване на изпитване с цел оценка годността на изследваната партия ("Fleet Leader" в стандартизиращите документи на НАТО).

качеството. Такъв стандарт, приет и използван и в Р България е БДС ISO 2859-1 [14]. За съжаление, чисто статистическите модели не винаги са подходящи и приложими. Влияние върху обема на извадките оказват фактори като: цена, количество, размер на образците, способности на изпитващата организация, профил на експлоатацията до момента, условия на съхранение и др.



Фиг. 1.12. Подходи за определяне на представителната извадка (адаптирано от [86])

От гледна точка на сложността на АСП, количеството на съставните им взаимно свързани компоненти, както и тяхната сравнителна цена, те могат да се разделят на две основни групи: ГРУПА А – такива с висока степен на сложност и висока цена (към тях спадат всички управляеми АСП) и ГРУПА Б с ниска степен на сложност и ниска цена (към тях могат да се причислят по голямата част от неуправляеми АСП).

Добрите практики в областта показват два подхода за определянето на представителната извадка: при наличие на големи наличности, със сравнително ниска цена се използва основно подход основан на теорията на вероятностите, при ограничено количество на изделия с висока цена се използва подход с изпитване на малък брой образци, но с повишени нива на получената информация или така наречения субективен подход. АОР 63 въвежда балансиран подход, при който основната цел е да се сведе до минимум размерът на извадката, като се постигне максимално ниво на достоверност (Фиг. 1.12.) [86].

Различните стратегии за определяне на извадката с техните предимства и недостатъци са систематизирани в Таблица 1.6.[134] Формирането на извадките следва да бъде по идентифициращи критерии като: производствени данни, профил на товарванията в процеса на експлоатацията, резултати от предишни изпитвания, данни от мониторинга на техническото състояние (технически прегледи), резултати от използване по предназначение.

Таблица 1.6. Стратегии за определяне на извадката (адаптирано от [7])

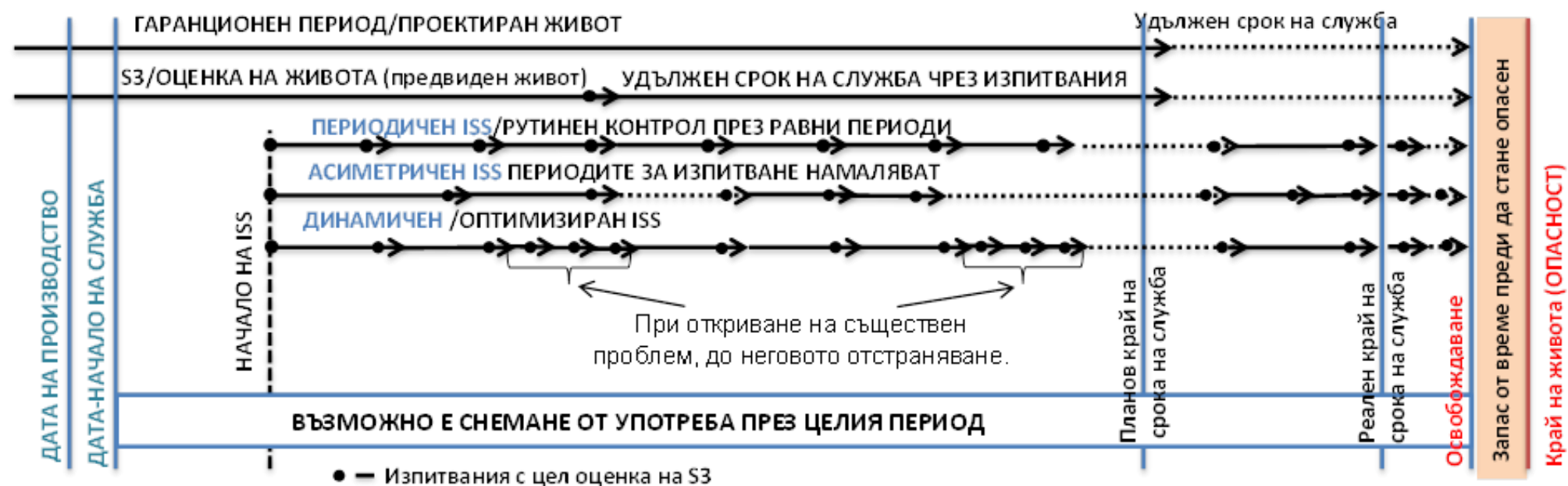
Стратегия за определяне на извадката	Случаи на прилагане	Предимства	Недостатъци
Стратегии за определяне на извадката на вероятностен принцип			
Определяне на извадката на случаен принцип	Когато боеприпасите от партидата са със сходни качества	Висока представителност	Голяма продължителност и брой
Систематизирано определяне на извадката		Висока представителност без използване на случайни числа	Голяма продължителност и брой
Поелементно определяне на извадката на случаен принцип	При хетерогенен характер на партидата с наличие на елементи с хомогенни качества	Висока представителност за елементите с хомогенни качества	Голяма продължителност и брой
Определяне на извадката на принцип групата боеприпаси	Когато няколко партии боеприпаси са със сходни качества	Простота, удобство и ниска стойност	Недостовърни резултати при некоректна група
Многократно определяне на извадката на случаен принцип	Когато партии или групи боеприпаси от партидата са със сходни качества	Висока представителност Простота, удобство и ниска стойност	Недостовърни резултати при некоректна група
Комбинация от стратегии за определяне на извадката на вероятностен признак		Ниска продължителност и стойност	Недостовърни резултати при некоректна група
Субективни стратегии (стратегии от не вероятностен тип) за определяне на извадката			
Инцидентна	Когато критерий представлява достъпността	Удобство и ниска стойност	Като правило ниска вероятност за достоверност

Квотна	Когато са налице страти, но е невъзможно стратифициране	Осигурява определена достоверност на извадката	Общата достоверност е под съмнение
Експертна	Когато са налице страти, но е невъзможно стратифициране	Осигурява определена достоверност за всички страти	Общата достоверност е под съмнение
Екстремална	Когато са налице определени образци, които са били експлоатирани в по-лоши условия	При положителни резултати гарантира определена достоверност за останалите	Общата достоверност е под съмнение

С цел намаляване на разходите е възможно групирането на АСП в сборни партии, които да се разглеждат като един обект за изпитване. За да бъде този подход приложим е необходимо партидите, групирани по този начин, да отговарят на определени условия. АОР-63 дава насоки и примери за такива подходящи критерии, като например: единен производител, еднаква модификация, възраст (обикновено произведени в рамката на 12 месеца) и най-важното с подобен профил на околната среда.

Последно, но не и по важност ще **разгледаме правилото за точно и обосновано определяне на периодите на различните видове изпитвания** в процеса на експлоатация на АСП и удължаване на срока им на годност. От специализираната литература [86] може да се дефинират три основни подхода при определяне на периодичността на извършване на изпитванията представени на Фиг. 1.14.

Разбира се сроковете за изпитване могат да бъдат далеч по-сложни от представените. Точният характер на изпитванията и продължителността на времето между тях се определят от конструктивните особености на всяко АСП, следователно е наложително да се използва индивидуален подход при тяхното определяне. На национално ниво е въведен асиметричният подход с [18], но поради големия период на експлоатация и най-вече пълната липса на релативност към авиационните боеприпаси заложения в [18] модел е неработещ.



Фиг. 1.14. Подходи за периодичност на изпитванията (адаптирано от [86])

4. Изводи

В настоящата глава е решена първа задача на дисертационния труд, при което могат да се направят следните изводи:

4.1. От направения анализ на съществуващите практики в областта, може да се заключи, че в НАТО, има изградена стройна система за мониторинг на техническото състояние и безопасността на различните видове боеприпаси. До момента в Р България не се прилага нито един от стандартизиращите документи на НАТО в областта, а нормативната база на национално ниво е морално остаряла или просто липсва. В перспективата на придобиване на нови БАК и съпътстващите го високотехнологични и скъпоструващи АСП е необходимо използването, в адаптиран вид, на нормативната база на НАТО, като концептуален и технически нормативен фундамент за бъдещата система за контрол и оценка на годността на боеприпасите в българската армия и в частност Военновъздушните сили.

4.2. Направеният анализ на специализираните източници на информация показва, че съществуват достатъчен брой стандартизирани, валидирани и верифицирани подходи и методи за определяне на остатъчния срок на годност, но за да може да се извърши качествена оценка на техническото състояние при минимални разходи, е необходимо те да се прилагат за всеки специфичен боеприпас по отделно.

4.3. От извършените анализи могат да се дефинират следните направления за повишаване на достоверността на оценката на техническото състояние на АСП в процеса на удължаване на срока им на годност:

4.3.1. Въвеждане на подход за оценка на техническо състояние на АСП с използване на ускорено състаряване на опитните образците;

4.3.2. Въвеждане на нови методи за изпитване, даващи по-пълна и точна информация за състоянието на АСП;

4.3.3. Прецизиране на начина на определяне на представителните извадки за изпитвания.

ГЛАВА II. ПОДХОД ПРИ УДЪЛЖАВАНЕ СРОКА НА ГОДНОСТ НА АВИАЦИОННИ СРЕДСТВА ЗА ПОРАЗЯВАНЕ

1. Общи положения

Реалистичната оценка на техническото състояние на боеприпаса изисква точни и подробни познания относно конструкцията, използваните материали и режимите на откази и повреди и тяхното въздействие върху безопасността. Такива познания са необходими и за оценка на въздействието на околната среда и условията на които може да бъдат подложени АСП при съхранението и използването им по предназначение.



Фиг.2.1. Подход при удължаване срока на годност на АСП.

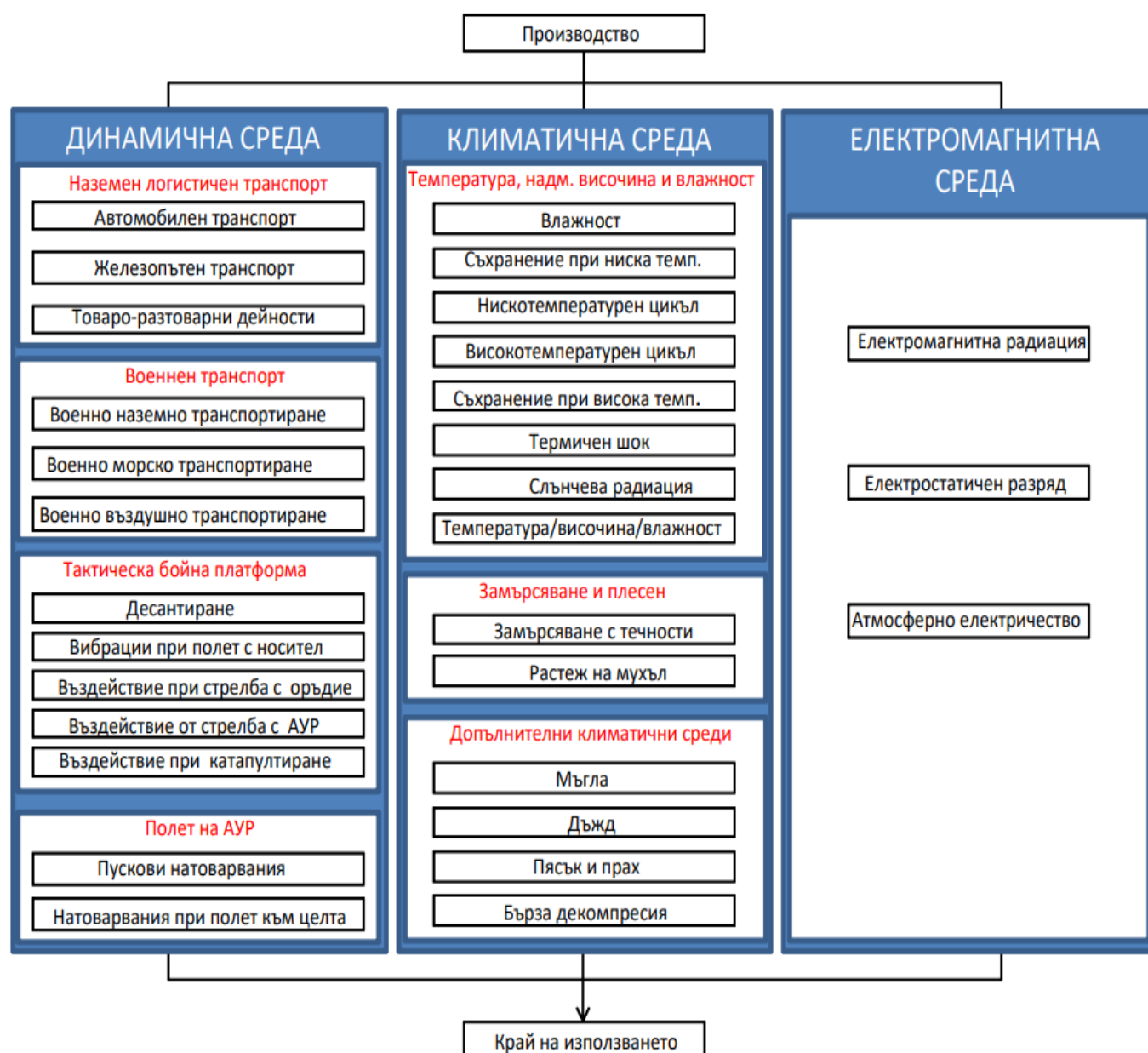
На базата на вече разгледаната в Глава I съюзническа публикация AOP-46 „The Scientific Basis for the Whole Life Assessment of Munitions. Ed. 1”, отчитайки спецификата на боеприпасите намиращи се на въоръжение във Военновъздушните сили и придобития опит е възможно модифицирането на

съществуващия в момента подход за удължаване на срока на годност на АСП във вида изложен на Фиг.2.1

2. Определяне на средата за експлоатация и режимите на стареене и отказ, лимитиращи срока на годност на АСП

2.1. Определяне на средата на експлоатация на АСП

В специализираната литература [87] са дефинирани очакваните среди на експлоатация на АСП, представени на Фиг.2.2:



Фиг.2.2. Очаквани среди на експлоатация на АСП.
(адаптирано от [87])

2.1.1. Климатична среда

Основно влияние върху АУР оказва **климатичната среда** при която тя се експлоатира. Като пряко влияещи върху годността им могат да се открият следните природо-климатични фактори:

- **Температурата на околната среда;**
- **Влажността на въздуха (влага);**
- **Слънчевата активност.**

Температурата на околната среда - това е основният фактор, влияещ на надеждността на голяма част от системите, оборудването и конструктивните материали на АУР. С повишаване на температурата се изменят параметрите на компонентите, участващи в електрическите схеми и най-вече се ускоряват химическите реакции протичащи във взривните вещества. Увеличават се диелектричните загуби и се нарушават свойствата на смазките. Според специализираната литература [92], гориво на БРД, в зависимост от дизайна и при съхранение до +30°C има срок на годност до 40 г. С повишаване на температура на експлоатация, с всеки 10°C се удвоява изчерпването на стабилизатора и вероятността от спонтанно запалване става много по-висока, поради започващите автокаталитични процеси (Табл.2.1.). Намаляването на количеството на стабилизатора е в пряка зависимост от температурата на експлоатация.

Таблица 2.1. Зависимост между температурата и срока на годност на БРД (адаптирано от [92])

Температура (°C)	Срок на годност БРД, г.				ЗАБЕЛЕЖКА
20	15.0	20.0	30.0	40.0	•Проектиран срок на годност на БРД, г.
30	15.0	20.0	30.0	40.0	•
40	7.5	10.0	15.0	20.0	•
50	3.75	5.0	7.5	10.0	•
60	1.83	2.5	3.75	5.0	•
70	0.92	1.25	1.83	2.5	• Достигнато опасно състояние. Необходимост от унищожаване на БРД.
80	0.46	0.62	0.92	1.25	•
90	0.23	0.31	0.46	0.62	•

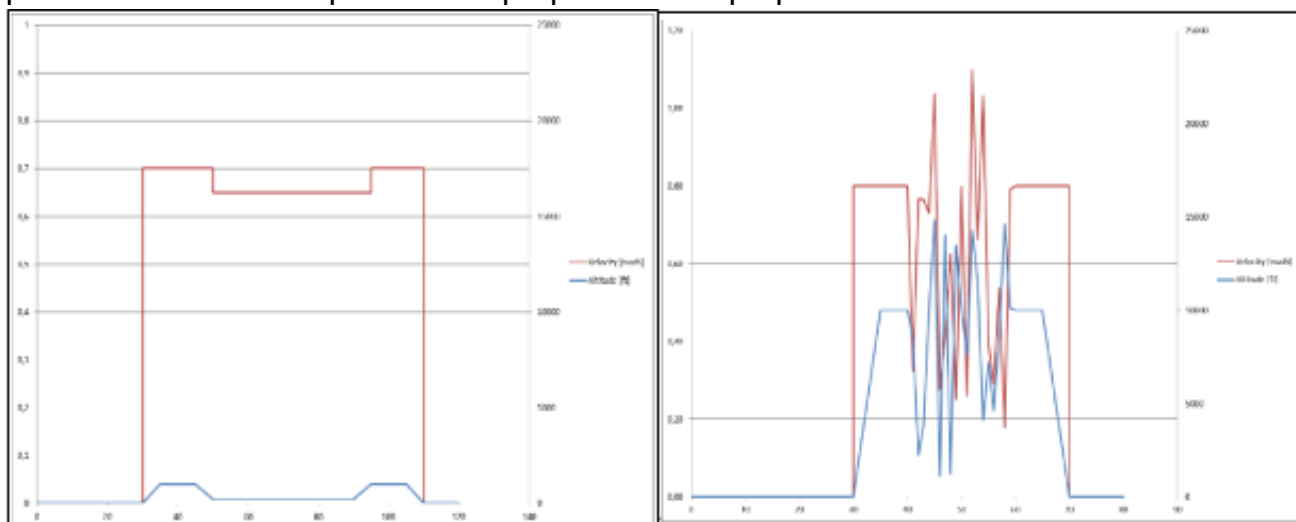
Република България се намира в умерена климатична зона и температурния диапазон на околната среда варира в приемливи за експлоатацията на АУР температурни интервали. Средната годишна температура за мястото на тяхната локация е $+17^{\circ}\text{C}$ [69,70]. Максимални месечни температури се достигат през месец юли и август от по $+29\div 30^{\circ}\text{C}$. От друга страна през по-голямата част от своята експлоатация АУР се намират в заводски опаковки или на транспортни колички в масивни складове, осигуряващи по данни от техническата им документация, температури за съхранение от $+7^{\circ}\text{C}$ до 22°C . Изключение правят АУР осигуряващи бойно дежурство на VoBC, но поради ротационния принцип на тяхното използване и осигуряването на специализирани предпазващи покривки, разглежданите ракети не могат да достигнат до критични нива на излагане на високи температури. Въпреки всичко, АУР прекарвали най-продължителни периоди на открито или в полет с VoBC трябва да бъдат разглеждани като такива експлоатирани при най-лоши условия, при определяне на представителните извадки.

Влажността на въздуха (влага) и подлагането на АУР на водна среда в следствие на дъжд и др. е една от най-често срещаните причини за отказ в резултат на който АУР стават опасни или негодни за експлоатация. Причина за това е замърсяването на вътрешната им среда от влага, т.е. реакции на водата с експлозивни, електрически, механични и електромеханични компоненти. Попадането на влага от външни източници може да стане по два различни механизма: чрез директно попадане или чрез преминаване на пари през уплътненията посредством дифузия. По-голямата част от наличната информация за дифузията на влага е по отношение на епоксидните смоли, където експериментално измерените активиращи енергии са в обхвата $40\div 70 \text{ kJ mol}^{-1}$.

Слънчевата активност способства за ускореното стареене и разрушаването на лакобояджийските покрития, гумените изделия и образуването на микропукнатини в изделията от органично стъкло, познато като „посребряване”.

2.1.2. Динамичната среда

Към важните фактори въздействащи върху годността на АУР трябва да се прибавят ударните и вибрационни натоварвания, като част от **динамичната среда**. По време на експлоатацията си АУР попадат под влияние на ударните и вибрационни натоварвания при транспорт, обслужване и най-вече при полет заедно със самолета носител при извършване на еволюции с голяма интензивност. Най-тежкият ударно-вибрационен режим възниква при резки изменения на скоростта и височината на носителя. Във литературата [30] е анализирано влиянието на профила на полета на VoBC върху АСП и на Фиг. 2.3. са представени две скоростно-височинни диаграми на които може да се видят различията в натоварванията при различни профили на полета.

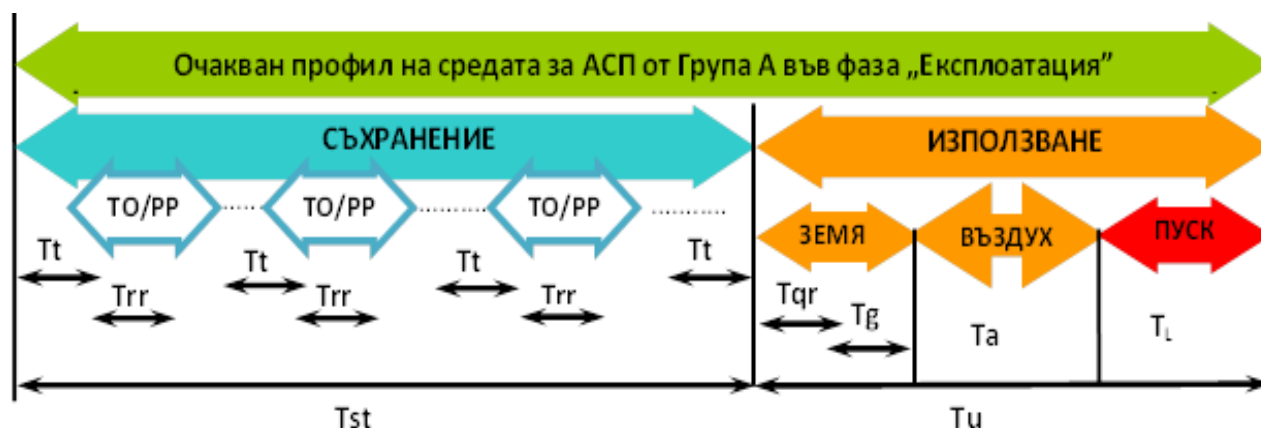


Фиг.2.3. Скоростно-височинни диаграми (варианти) при: кацане (вляво), въздушен бой (вдясно) [30]

2.1.3. Оценка на комплексното влияние на средата върху годността на АУР

Различните видове среди влияят по различен начин на АСП в зависимост от продължителността и интензитета с които тя въздейства. За целта е

необходимо да се извърши приблизително определяне на профила на средата въздействаща върху АСП, като трябва да се има в предвид, че тяхната експлоатация има предимно „пасивен характер” – режим на съхранение. Както се вижда от Фиг. 2.4., експлоатацията на АСП с висока степен на сложност и висока стойност от група А, към която спадат и АУР, условно може да се раздели на два основни периода: съхранение (за време T_{st}) и използване (за време T_u).



Фиг. 2.4. Профил на средата за АУР във фаза „Експлоатация”

Следователно времето T_E на фаза „Експлоатация” на АУР може да се представи като сбор от времената прекарани при влиянието на различни среди, а именно:

$$T_E = T_{st} + T_u = (T_{st0} + T_t + T_{rr}) + (T_{qr} + T_g + T_a + T_L) \quad (2.1)$$

Не оспорим факт е, че времето прекарано от АУР в режим съхранение (T_{st}) е многократно по-голямо от времето за използване по предназначение (T_u), но практиката показва по-висока отказност при АСП прекарвали продължителни периоди T_{qr} , T_g и особено T_a , защото именно тогава са подложени на най-агресивните деструктивни фактори, влияещи пряко на тяхната годност. От представената до тук информация и на база опита, може да се изложи предположението, че при АУР, дори от една партида ще имаме групи от боеприпаси експлоатирани при различни профили на средата и следователно достигали до различия в техническото състояние и надеждността

си [35]. Важно е да се подчертае, че практиката показва изключително висока отказност на АУР, прекарали времето след придобиването им в заводски опаковки и складова среда, но за този период не са им извършвани апаратурни проверки. Причината за това са електронни блокове изискващи периодично „натрениране“ на отделни електронни компоненти в тях. Тези неоспорими факти е необходимо да бъдат отчетени при определянето на **представителните извадки** за изпитване.

2.2. Дефиниране на очакваните основни режимите на стареене и отказ

Материалите, използвани в изпитваните АСП, променят качествата си с течение на времето, в специализираната литература този процес е прието да се нарича стареене на материалите. Промяната може да е внезапна или постепенна, обратима или необратима. Анализът на специализираната литература [29, 33, 35, 38, 40, 79] позволява класифицирането на режимите на отказ в зависимост от механизмите на деградацията.

Термични (химически). Тези режими на отказ могат да се определят като промени, настъпващи в химическия състав на материалите, което води до неприемливо влошаване на характеристиките за годност и безопасност;

Механични. Могат да бъдат идентифицирани два основни режима на механични повреди. Първата от тях е умората, при която под действието на циклично натоварване се инициира пукнатина, разпространяваща се с времето, което води до отказ на компонента. Вторият, основен режим на отказ се дължи на приложено напрежение, което превишава прага на устойчивост и поврежда компонента;

Термомеханични. Отнася се за механични напрежения в материали, които са предизвикани от топлинни ефекти, водещи до механична повреда.

Нека да разгледаме основните видове материали от състава на използваните в българските Военновъздушни сили АСП и как им влияят деструктивни процеси във времето при тяхното стареене:

Колоидни пропеланти (на основата на нитратен естер). Този вид пропеланти са широко използвани в АСП на въоръжение във ВВС, като например НМФ-2 за по-старите образци АУР или широко използваните в

неуправляемите авиационни ракети РСИ-60, БН-К и БНК-Р. До този момент не са констатирани отклонения при работа им, но трябва да се има в предвид, че нитратните естери в колоидните горива се разлагат много бавно при нормални температури на околната среда, което съществено се променя при повишаване на температурата. Реакцията обаче е автокаталитична и затова е необходим стабилизатор, който да реагира с продуктите на разлагане и да предотврати автокатализа¹³. Краят на живота на колоидните горива е свързан със спада на нивото на стабилизатора до определено ниво, като стойностите на енергията на активиране за загуба на стабилизатор в колоидните горива варират в зависимост от естеството на стабилизатора и състава на горивото, но са приети стойности около 85 kJ mol^{-1} [79].

Механичната якост на колоидните горива се осигурява от нитроцелулозата (NC) и всяко разграждане на тази съставка, като и верижно прекъсване или скъсяване на веригата на NC, ще доведе до намаляване на здравината и евентуална загуба на целостта на заряда. Стойностите на енергията на активиране от около 100 kJ mol^{-1} са подходящи за режими на отказ, поява на пукнатини под действието на отделения газ [75,79].



Фиг. 2.6. Миграция на съставки от заряд на БРД

¹³ **Автокатализа.** Процеси, при които един от реакционните продукти действа като катализатор, се наричат автокаталитични.

Миграцията на съставки от горивото може да доведе до сериозни проблеми. На Фиг.2.6. е представено констатирана миграция на съставките от твърдогоривен заряд. Това е особено важно за миграцията на нитроглицерин, пластификатори, инхибитори или изоланти, всичко това не влияе само върху балистиката на горивото, но и намалява устойчивостта на горенето и може да доведе до високи концентрации на стрес с последващи разкъсвания на връзката. Инхибиторът може да стане механично слаб поради абсорбция на пластификатор. Миграцията на нитроглицерин или други пластификатори има енергийни стойности $50\div 90 \text{ kJ mol}^{-1}$ [75,79].

Екструдираните заряди са склонни да променят размерите си при съхранение, тъй като молекулните вериги с времето променят своята екстудирана ориентация. За БРД, при които първоначалните размери са критични, намаляването на дължината, увеличаването на диаметъра или намаляването на размера на централния отвор, може да доведе до ерозивно изгаряне, увеличаване на налягането или до „запушване” на заряда, което води до напукване и критична промяна на скоростта на горенето.

Смесев (композиционен) горива. Смесевите горива на основата на амониев перхлорат се използват в БРД на всички АУР, намиращи се на въоръжение във ВВС и тяхното състояние е предмет на основно разглеждане в процеса на оценка на възможността за удължаване срока на им на годност. Нужно е да се отбележи, че смесевите горива предлагат подобрени свойства в сравнение с колоидните горива, тъй като те могат да понесат големи натоварвания и притежават добри механични свойства при ниски температури. Тези качества са пряко свързани с еластичните свойства на свързващото вещество, което обикновено е полибутадиен с крайни хидроксилни радикали (hydroxyl terminated polybutadiene - HTPB).

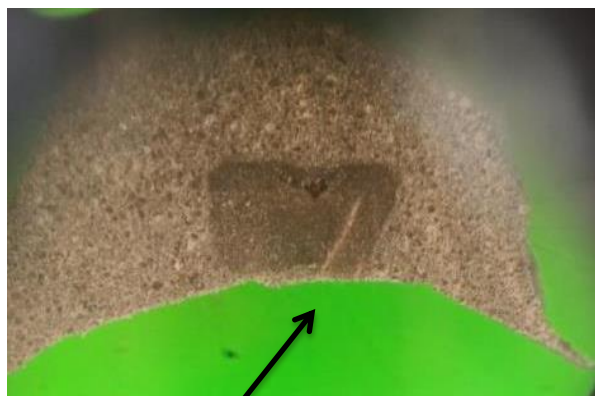
Разграждането на смесев горива на базата на амониев перхлорат с полимерно свързващо вещество е най-вероятно в резултат на наличието на влага и/или кислород. Влагата причинява растеж и агломерация на кристалите амониев перхлорат (Фиг.2.7.), което води до втвърдяване на горивото и понякога до намаляване на скоростта на горене и запалимостта на състава.

Влагата е възможно да окаже влияние на металните добавки в заряда, като примерно настъпване на разграждане на алуминий.



Фиг. 2.7. Заряди от композитно гориво с настъпил растеж и агломерация на кристалите амониев перхлорат

Полимерите, използвани в смесиви заряди, като често използвания НТРВ, са податливи на окислително омрежване. Това може да доведе до втвърдяване на горивото, загуба на разтегливост и повишена склонност към напукване на състава. Възможен е обратния процес намаляване на плътността на кръстосаните връзки, което от своя страна ще доведе до омекване на заряда. Тези процеси водят до влошаване на механичните свойства, което може да бъде от решаващо значение при определяне на срока на годност на двигателя. Енергията на активиране на скоростта на кръстосано свързване на определено смесиво гориво, съдържащо в състава си НТРВ е приблизително 90 kJ mol^{-1} [75,79]. Скоростта на стареене се намалява значително чрез понижаване на концентрацията на кислород над повърхността на горивото. Ако над горивото може да се запази атмосфера от инертен газ като напр. азот, механизмът на стареещо омрежване ще бъде значително намален.



Фиг. 2.8. Заряд от композитно гориво с настъпила абсорбция на пластификатор от инхибитор

Други режими на отказ, които трябва да се вземат предвид при смесевото гориво, са свързани с отказ на връзката на инхибитора. Деградацията на инхибитора може да бъде причинена от абсорбция на пластификатор (Фиг.2.8.), водеща до нарастване на обема на инхибитора и високи концентрации на стрес с последващи откази на връзките. При БРД, коефициентът на топлинно разширение за смесевото гориво може да бъде два или три пъти по-висок от този за метални или композитни материали. При термични цикли, корпуса на двигателя може да действа като твърда ограничителна система. Получените натоварвания, които се натрупват в горивото и в съставките му, в крайна сметка ще доведат до напукване в състава или повреда на връзката му с корпуса на двигателя.

Изследванията представени в [27] показват, че стареенето е сравнително бързо при условия с повишена влага, което води до омекване и евентуално разпадане на свързващото вещество. Разграждането на свързващото вещество при стареене се причинява от процес на верижен разпад. Съгласно [56], очевидните активиращи енергии са необичайно ниски при около 28 kJ mol^{-1} , без присъствието на енергетичния пластификатор и малко по-високи при 33 kJ mol^{-1} , когато е включен пластификатор.

Изчерпателно проучване относно експлоатационния живот на БРД със смесово гориво е представено в 42. Изследването дефинира 4^{-те} най-разпространени категории режими на отказ в този тип двигатели, а именно: напукване, отлепване, разпадане и нестабилно горене.

Първични и вторични експлозиви. Взривните вещества с повишена мощност използвани в бойните части на АУР, НАР и АП от вида на хексоген ($\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$), октоген ($\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_8\text{O}_8$) и техните производни са метастабилни вещества и се разлагат със скорости, зависими от температурата. Тази реакция е незначително малка при нормални профили на средата. Това се дължи на високите стойности на активационната енергия за активация на процеса на термично разлагане - $150\text{-}200 \text{ kJ mol}^{-1}$ [79]. Едва когато температурата се повиши над около 100°C , скоростта на термично разлагане става значителна.

Различните вторични експлозиви, като тринитротолуола (TNT - $\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6$) използван широко в АБ, имат различна степен на термична стабилност.

Критичната температура на експлозива, определена като най-ниската постоянна температура на повърхността, при която даден материал ще се нагрее катастрофално, зависи от размера, формата и затвореността. Критичните температури могат да се предвидят с помощта на уравнението на Франк-Каменескии [79]. Това уравнение осигурява връзката между размера, формата, химичните и физичните свойства, включително топлопроводимостта, спрямо критичната температура на материала.

За вторични експлозивни състави на базата на TNT, потенциалният режим на повреда е ексудацията. При 80°C TNT започва процес на разтопяване при което се увеличава значително обема му (възможно е да достигне до +10,8%). При положение, че този увеличен обем не може да бъде приспособен в корпуса си, уплътненията ще бъдат подложени на повишено налягане с висок риск от изтичане на разтопен TNT, а в някои случаи и взрив.

Първичните взривни вещества са предимно йонни съединения с висока точка на топене, така че ексудацията не би трябвало да е проблем. Основните възможни режими на отказ се дължат на несъвместимост на материала и навлизане на влага. Реакцията на влага с инициращи вещества, като оловен азид, може да доведе до неработоспособност при използване по предназначение. От особена важност е първичните взривни вещества да бъдат добре изолирани от външната среда, за да се гарантира дългосрочна стабилност. Стойност от 70 kJ mol^{-1} е приемлива за енергията на активиране на режим на отказ поради влага [79].

Пиротехнически състави. Традиционните пиротехнически състави представляват физични смеси от главно неорганични съставки. В специализираната литература [79] се разглеждат два вида стабилност на химическото разграждане при пиротехническите състави. Първата е стабилността на пиротехническия състав относно неексплозивно вещество, с което е в контакт. Втората стабилност е спрямо попадналата влага в пиротехническия състав от атмосферата, дори и в „херметически“ запечатани изделия. В компоненти, в които има малка или липсва обмяна на газове между външната атмосфера и вътре в продукта, обикновено липсва каквото и да е химическо разграждане повлияно от влагата на пиротехническите състави.

Полимери. Естествените и синтетични материали като гуми, лепила и полимери стареят с различна интензивност в зависимост от средата. Малки промени в състава, могат да доведат до значителни промени в поведението на стареене на материалите. Чувствителни са към температура, влага и слънчева радиация, по-специално на ултравиолетовата. Влошаването на каучуците варира в зависимост от това дали са изложени на силна слънчева радиация, образуваща защитно покритие или на влага, която е възможно да отстрани автокаталитичните продукти от състава им. Стареенето (окислението) на каучука е представено със стойности на активационната енергия от около 90 kJ mol^{-1} , докато за разграждането на флуороеластомери стойностите от около 5 kJ mol^{-1} [79].

Композитни материали. Композитните материали използвани в компоновката на АУР, представляват смес от два или повече материали, от които единият обикновено е под формата на влакна, вградени в матрицата на другия материал. Композитните материали страдат от два основни механизми на отказ. Първият е чрез абсорбция на влага от матрицата, което може да доведе до бързо намаляване на здравината на цялото изделие. Второ, при експлоатация, композитните материали могат да бъдат повредени от външно въздействие, като повредата в повечето случаи не е очевидна, без подробно изследване.

Метали. Корозията на металите обикновено се ускорява чрез повишаване на температурата, но нивото на ускорението варира значително. Съществуват примери, при които по-нататъшната корозия се инхибира от защитни оксидни филми, образувани при повишени температури. Атмосферната корозия на металите е силно повлияна от малки количества газообразни примеси и водни пари. Ако металът е в контакт с почвата, играят голямо разнообразие от допълнителни корозивни агенти, включително киселинност/основна на почвата, аерация, примеси и микроорганизми, всички от които могат да повлияят на скоростта на корозия. Електрохимичните ефекти също са важни. Типът на корозия зависи от много от горните фактори, а също и от характеристиките на метала или сплавта, защитни филми и др.

Електронни компоненти. Правилното функциониране на електронните компоненти е жизненоважно за безопасността и годността на АУР.С времето електронните компоненти стареят, променят своите параметри и довеждат до негодност цялото изделие.



Фиг. 2.9. Последствия от възникнало пренапрежение в електронен управляващ блок на АУР

При проникването на влага в електронните блокове са възможни пренапрежения и внезапна загуба на работоспособност на системата. На Фиг. 2.9. е представен пример за последствията от възникнало пренапрежение в електронен управляващ блок на АУР.

2.3. Констатирани и очаквани режими на отказ

За нуждите на настоящото изследване ще разгледаме статистически отказите и причината за тяхното възникване в процеса на експлоатация на АСП в българските ВВС за период от 35 години. На база наличната информация за АСП от Група А и Б, може да се представи следната обобщена информация в Приложение 7 (съгласно дисертацията), Таблици 7.1. и 7.2.

Таблица 2.2. Обща статистика от експлоатацията на Изделия 1 и 2

АУР тип	Достигнато ниво на функционалност, %
Изделие 1	85
Изделие 2	93

От Таблица 7.2. от Приложение 7 (съгласно дисертацията) и Таблица 2.2. може да се направи извода, че сборната партида от Изделие 2 покрива изискванията представени в Приложение 3 (съгласно дисертацията) за минималното ниво на качество, при което се счита, че боеприпасите могат да се използват за оперативни цели (FQL¹⁴). От друга страна сборната партида от Изделие 1 покрива изискванията за минималното ниво на качество, при което се счита, че боеприпасите могат да се използват за тренировъчни цели или учения (OLQ¹⁵). Тази изводи е необходимо да се вземат в предвид при планирането на бъдещето използване на тези боеприпаси, като се налага разглеждането на Изделие 1 единствено за учебни цели и ограничаване на оперативното му използване.

Анализът на различните специализирани източници в библиографията показва, че при наличните в края на 80^{-те} години на миналия век технологии, трудно може да се очаква периодът на експлоатация на боеприпасите, за който се запазват фиксираните нива на надеждност (Приложение 3 съгласно дисертацията), да надхвърли 40 години. Последното е предпоставка за значителна работа по повишаване на достоверността на оценката на техническото състояние на АСП в процеса им на удължаване на срока им на годност с цел вземането на адекватни решения за продължаване на тяхната експлоатация. В Таблица 2.3. са представена очакваната продължителност на жизнения цикъл на основните елементи от състава на АСП.

Таблица 2.3. Очаквана продължителност на жизнения цикъл на елементи от боеприпаси (адаптирано от [92])

Елемент	Срок на годност, год.	Вероятен механизъм на деструктуриране
Пиротехнически състави	20	– разрушаване на пресови или слепени съединения; – намаляване на количеството на стабилизиращите състави;
Смесиви горива (херметичен режим)	15÷40[133]	
Едно и двукомпонентни	15÷40[133]	

¹⁴ от англ. The Functional Limited Quality level - функционално ниво на качество

¹⁵ от англ. the Operational Limited Quality level - оперативно ниво на качество

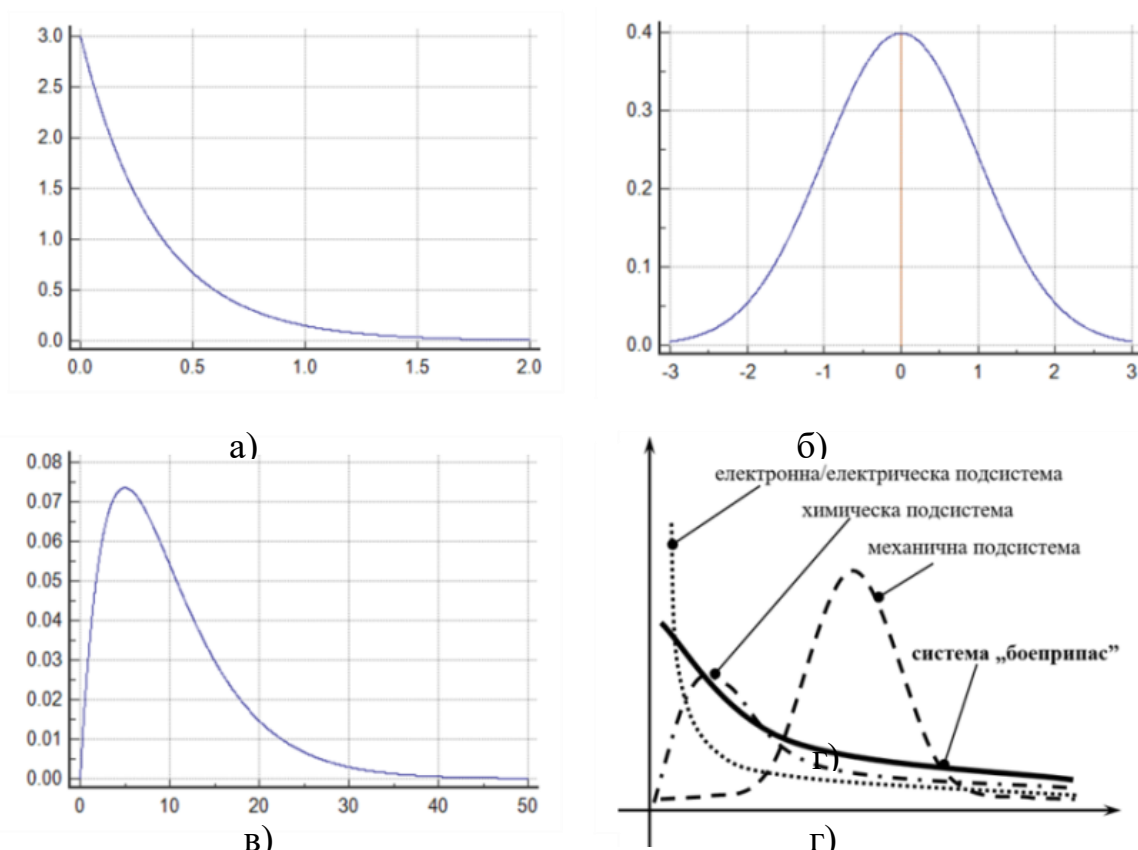
барутни състави (херметичен режим)		- дифузия на взривни вещества в други; - образуване на микропукнатини в т.ч. и във взривните вещества;
Едно и двукомпонентни барутни шашки (херметичен режим)	20-25	- проникване на влага в пиротехническите състави; - проблеми в съвместимостта.
Електронни елементи	25-30 [19]	- стареене на елементите; - повреди вследствие на натоварвания при използване.
Оптични елементи за самонасочващи се глави	> 50 [20]	- повреди вследствие на натоварвания; - слънчева радиация; - проникване на влага.
Химически токоизточници	17-20 [21]	
Литиеви токоизточници (при запазване на над 80% от капацитета)	10-20 [21]	
Контактни повърхнини		- повреди по уплътненията; - корозия.
Гумени и пластмасови елементи	10-20	- повреди с механичен характер; - разрушаване вследствие на вибрационни и/или ударни натоварвания; - излагане на слънчева радиация.
Метални елементи	над 50 г.	- повреди с механичен характер; - корозия; - разрушаване вследствие на вибрационни и/или ударни натоварвания.

Имайки предвид представената информация, може да се направи заключението, че барутните, пиротехнически състави и електронните елементи са най-чувствителните елементи на АСП по отношение на влиянието на външните въздействащи фактори върху годността им (предимно високите температури и влагата), и обяснимо научните изследванията в това направление са преобладаващи.

Безспорен е фактът, че годността на АСП зависи от запаса от работоспособност и устойчивост на неговите елементи, като промяната им е пряко зависима от климатико-механични профили на експлоатация и

възникващите в следствие на тях деструктивни процеси. Специализираните източници [8] показват, че различните елементи на АСП се характеризират с различен тип разпределение на надеждностните характеристики (Фиг.2.10.), които се различават от приетото биномно разпределение:

- електронните елементи – експоненциално разпределение ;
- механичните елементи - нормално разпределение;
- химичните - гама-разпределение.



Фиг. 2.10. Видове разпределения на надеждността за различните елементи: а-за електронни и електрически елементи; б-механични; в-химични; г-за цялата система [7]

От представената статистическа информация се вижда, че при АСП от Група А основният лимитиращ режим на отказ е неизправност в електронните компоненти, а при АСП от Група Б е промяна на физико-химическия състав на барутния заряд. От гледна точка на безопасността и при двете групи се очаква настъпване с времето на вече описаните деструктивни процеси и експоненциално нарастване на отказите.

3. Определяне на методите за изпитване

В Глава I подробно се запознахме със съществуващите световни практики и подходи при мониторинг на техническото състояние на боеприпаси и приложните методи за изпитване. В настоящата работа след като вече са разгледани подробно и определени средата на експлоатация и очакваните режими на отказ следва определяне на методите за изпитване. От съществено значение е да се спазят следните принципи при техния избор:

достатъчност – изпитванията е необходимо да носят достатъчно информация за вземане на мотивирано решение;

възможна реализация – необходимо да се прецизира възможността за провеждане на дадено изпитване, преди то да залегне в нормативно-техническите документи, като това е непосредствено свързано с извършването на така наречения анализ на ефикасността (Cost Efficiency Analysis).

В практиката методите за изпитване се разделят на два вида базисни (основни) и предвиждащи методи [86]. При изпитванията със симулиране влиянието на процесите на стареене или известни още като предвиждащи изпитвания, не само се измерват дадени параметри, но и се дава информация за скоростта на промяната на тези параметри в зависимост от други променливи като време или температура. Доставянето на такъв вид информация често може да бъде от решаващо значение за ранното откриване на свързаното с безопасността влошаване на техническото състояние на АСП. Както вече беше отбелязано, при определянето на методите за изпитване да се взема под внимание настъпващите с времето деструктивни процеси, свързани с протичащи химични реакции, за което най-приложима е зависимостта на енергията на активиране на отказа от въздействащата температурата. Тази зависимост може да се представи чрез уравнението на Арениус в леко модифицирана форма, което показва връзката между скоростите на реакция при различни температури [79]:

$$F = \frac{K_1}{K_2} = e^{\left(-\frac{E}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right)} \quad (2.2)$$

където:

F = коефициент на реакция на ускорението;

k_1, k_2 = скорости на реакция при температури T_1 и T_2 отделно;

T_1 = температура на изпитване (K);

T_2 = референтна температура (K);

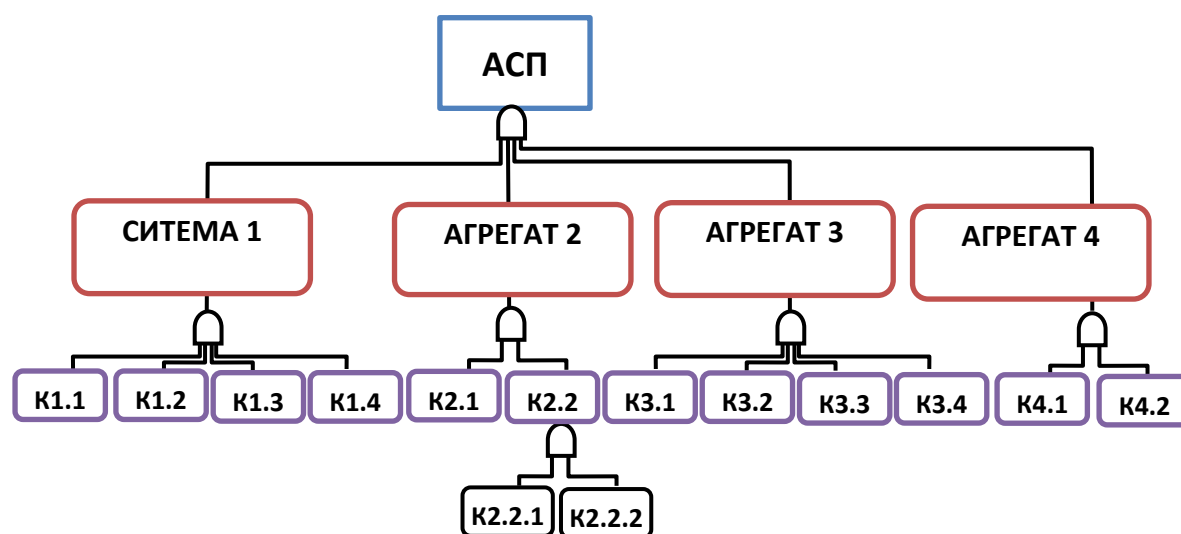
E = енергия на активиране (J mol^{-1});

R = универсална газова константа ($8,314 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

Таблица 2.5. Стойности на енергията на активиране за определяне на скоростта на стъпката за определени режими на отказ [79]

РЕЖИМ НА ОТКАЗ	АКТИВАЦИОННА ЕНЕРГИЯ (kJ mol^{-1})
Дифузия на влага чрез уплътнения и т.н.	70
Миграция на горивен пластификатор	50-75
Стареене на каучуци	85-95
Термично разлагане на бризантни ВВ	150-200
Термично разлагане на първични взривни вещества	90-120
Поява на пукнатини в гориво	100

АСП се състоят от поне няколко независими елементи, блокове или отсеци. Използваните материали в тях по различен начин стареят поради което в специализираната литературата [86] при определянето на методите за изпитване се препоръчва декомпозиране на боеприпаса до функционално независими агрегати, системи или компоненти, където това е приложимо. На Фиг.2.10. е представен пример за декомпозирането на АСП от Група А



Фиг.2.10. Пример за декомпозиране на АСП от Група А
(адаптирано от [61])

Реализацията на този подход се основава на експертната оценка, което предполага определянето на експертна група. Критериите за подбор на такава експертна група са широко анализирани и формулирани в специализираната литература, поради което на това няма да бъде обръщано отделно внимание. Експертната група изхождайки от входните данни дефинират необходимите изпитвания, техният обем, конкретни изисквания и критерии на които трябва да отговаря АСП за да бъде удължен срока му на годност [АП2].

Таблица 2.8. Примерно декомпозиране и определяне на методите за изпитване на АСП от Група А

Агрегат/система	Подсистеми и елементи	Степен на критичност	Резултат от стареене/отказ	Метод на изпитване
Система 1	Подсистема 1	0,4	Ефект 1	Изпитване 1, Изпитване 2
	Елемент 1		Ефект 2	Изпитване 3, Изпитване 1
				
Агрегат 1	Елемент 1	0,2		
	Елемент 2			
				
.....				

В Таблица 2.8. е представен в матричен вид вариант на матрица с определени степени на критичност и подбрани методи за изпитване/контрол от експертната група. На първо място се извършва декомпозиране на АСП, до степен на независими системи или агрегати. Степента на критичност на системите/елементите се определя като част от 1, като впоследствие степента на критичност се използва определяне на съвкупността от методи за изпитване.

За да се определят правилно методите за изпитване е важно да се разгледат очакванията за настъпилите промени в следствие стареенето/отказите и техния ефект върху системата боеприпас като цяло. За определен агрегат е възможно да съществуват множество методи за изпитване, но е важно при избора им те да се разгледат през призмата на вида информация която биха доставили, възможността за нейното анализиране и степента на критичност на изпитвания агрегат или елемент. Подробна методика за дейността на експертна група е представена в [АП 6], която е в процес на редактиране. Същата ще бъде включена и в подготвян монографичен труд.

4. Изводи

В настоящата глава са решени втора и трета задачи на дисертационния труд, при което могат да се направят следните изводи:

4.1. Формулирания подход представя обоснован и приложим ред за работа, отчитайки че периодът на експлоатация на намиращите се на въоръжение във Военновъздушните сили АСП, за които критично-достатъчните нива на надеждност и работоспособност е малко вероятно да надхвърли 40 години.

4.2. При анализиране на факторите и процесите влияещи върху годността на АСП на въоръжение във Военновъздушните сили като критични елементи са дефинирани зарядите на БРД, пиротехнически състави и електронните елементи.

4.2. При разглежданите АСП, дори от една партида ще имаме групи от боеприпаси експлоатирани при различни профили на средата и следователно достигали до различия в техническото състояние и надеждността си. Това е необходимо да се вземе в предвид при определяне на представителните извадки.

4.3. При определяне на методите за изпитване е необходимо да се спазват следните принципи:

4.3.1. Да бъде прецизирана степента на достатъчност и възможната реализация на изпитванията.

4.3.2. При избора на предвиждащи методи е най-приложима зависимостта на енергията на активиране на отказа от въздействащата температурата. Тази зависимост може да се представи чрез уравнението на Арениус.

4.3.3. Като приложим подход за определяне на методите за изпитване е използването на експертна група, извършваща декомпозиране на боеприпаса, определяне на степента на критичност на системите/елементите, резултатите от стареене/отказ и възможния ефект от тях върху годността и безопасността на боеприпаса.

ГЛАВА III. РЕЗУЛТАТИ ОТ ПРИЛАГАНЕТО НА РАЗРАБОТЕНИЯ ПОДХОД ЗА УДЪЛЖАВАНЕ НА СРОКА НА ГОДНОСТ НА АВИАЦИОННИ СРЕДСТВА ЗА ПОРАЗЯВАНЕ

1. Общи положения

В началото на дисертационния труд се въведе **ограничение**: Детайлното изследването да бъде насочено само към АУР „въздух-въздух”. Поради това ограничение в настоящата глава са представени единствено резултати от прилагането на изложеният в Глава II подход за удължаване на срока на годност на АСП, както и от опитно извършени изпитвания, съгласно методи не използвани до този момент на национално ниво, с цел изследване на тяхната пригодност и адекватност. При изпитванията са следвани добрите практики, описани и анализирани подробно в Глава I.

Представените резултатите от извършените изпитвания в процеса на настоящата работа, са показани в определен ред. Числовите стойности на резултатите от различните видове изпитания и изследвания са представени в Приложение 10 (съгласно дисертацията). На основание получените резултати са направени изводи за приложимостта и степента на достоверност за всеки от използваните методи и насоки за бъдещо развитие.

2. Определяне на представителната извадка и методите за изпитване

В формулираните изводи на Глава I, правилното определяне на представителните извадки бе дефинирано като едно от основните направления за повишаване на достоверността на оценката на техническото състояние на АСП в процеса на удължаване на срока им на годност. Като най-приложим подход бе определен използването на стандарт БДС ISO 2859-1 с прилагането на принципите за балансираност, изложени в АОР 63.

Както вече беше представено, след разделянето на образците от партидата в различни групи в зависимост от профила на средата им, на изпитвания за оценка на техническото състояние с предимство се подлагат тези, прекарали най-продължителен период при неблагоприятни въздействащи фактори по време на фаза „Експлоатация”, като резултатите се приемат за удовлетворителни и за останалите групи, с по-добър профил на

средата. При констатиране на отклонения от техническите изисквания на изпитваната група, се преминава към следващата по тежест група. Този подход ще намали до минимум възможността от забраняването на определена партида, поради неправилно избрани образци за изпитване и ще позволи продължаване на експлоатацията на част от изпитваната партида.

Точно определяне на профила на средата при експлоатация на отделните образци АУР от изследвана партида се извършва на базата на информацията за тяхното служебно обръщение и преминаването през различни състояния, съгласно фиг. 2.4 и математическото съотношение 2.1. Използвайки реални статистически данни, при партида¹⁶ от 100 образци АУР и $T_E=20$ г., могат да се дефинират следните профили¹⁷ на експлоатация:

Профил 1 – 50 бр. $T_{st0}=20$ г. $T_{tt}=0,027$ г.;

Профил 2 – 30 бр. $T_{st0}=16$ г., $T_{tt}=0,05$ г., $T_{rr}=0,25$ г. и $T_{qr}=3,7$ г.;

Профил 3 – 20 бр. $T_{st0}=14$ г., $T_{tt}=0,1$ г., $T_{rr}=0,4$ г., $T_{qr}=4,5$ г., $T_g=1$ г., $T_a=0,002$ г.

На база представения подход в Глава II, образците за изпитване е необходимо да бъдат избрани с предимство от експлоатирана групата при най-тежки условия (Профил 3). Вече беше разгледана високата отказност на АУР, намиращи се в състояние T_{st0} , на които не е извършвана ежегодна апаратурна проверка. Поради тази причина е задължително извършването на основните изпитванията, без разрушаване на образца, като апаратурна проверка и външен оглед на 100% от изделията в изследваната партида. Още повече при такъв период от време, на база статистиката на отказите, част от образците с Профил 3 ще бъдат с констатирани откази в електронните блокове, което ги прави подходящи за извършване на изпитвания на различни елементи от състава на боеприпаса с разрушаване на образца.

При определяне на броя образци върху които ще бъдат приложени методи с разрушаване се спазват нивата за приемане и отхвърляне на партидата зададени в стандарт БДС ISO 2859-1 Част 1: Планове за вземане на

¹⁶ Обикновено на изпитване се подлагат отделни партии, идеален случай.

¹⁷ За примера се приема, че нито една АУР от наблюдаваните не е изстреляна и намиращите се на съхранение в складове са консервирани и не са им извършвани регламентни работи.

извадки, индексирани по граница за качество при приемане (AQL), за контрол партида по партида”, табл. 1 и табл. 3-А (Приложение 9 съгласно дисертацията) и предписанието на AOP 63 за минимален брой изпитвани образци. При покриване на изискванията за приемане на изпитванията за общо равнище на контрол I и двукратно вземане на извадки, за партида от 100 образци, се осигурява статистически минималното ниво на качество, при което се счита, че боеприпасите могат да се използват за оперативни цели FQL=96%, Този резултат може да се приеме за необходимо и достатъчно условие за удължаване срока на годност на боеприпаса без ограничение.

На основание определеният в Глава II ред за дефиниране на методите за изпитване, и установения като приложим подход използването на експертна група, извършваща декомпозиране на боеприпаса, определяне на степента на критичност на елемента/системата, резултатите от стареене/отказ и възможния ефект от тях върху годността и безопасността на боеприпаса. На базата на този подход се достигна до следния резултат, представен таблично в Таблица 3.1. и Таблица П9.2.

Таблица 3.1.

Резултат от изпитването	Методи за изпитване	Брой образци подложени на изпитване
Без разрушаване на образеца	Визуален контрол	100%
	Апаратурна проверка	100%
	Контрол без разрушаване (без визуален контрол)	от n* до 100%
С разрушаване на образеца	Функционални изпитвания	съгл. БДС ISO 2859-1
	Балистични изпитвания	съгл. БДС ISO 2859-1
	Летателни изпитвания	съгл. БДС ISO 2859-1
	Физико-химични изпитвания на горивото на БРД	съгл. БДС ISO 2859-1
	Механични изпитвания на горивото на БРД	съгл. БДС ISO 2859-1
	Термични изпитвания	съгл. БДС ISO 2859-1
	Инфрочервена спектроскопия	съгл. БДС ISO 2859-1

Забележка: n* - количество определено на базата на декомпозицията на изделието

3. Резултати от проведени изследвания и изпитвания

В процеса на настоящата работа, следвайки добрите практики в областта, се извършиха различни лабораторни и полигонни опити с прилагането на нови методите за изпитване, определени в Таблица 3.1. При прилагането им се оцени тяхната адекватност към използваните във Военновъздушните сили АСП,

предимствата и недостатъци им, както и количеството и полезността на получената информация. Както вече беше представено при предвиждащи методи е използвана зависимостта на енергията на активиране на отказа от въздействащата температурата, представена чрез уравнението на Арениус (2.2) или така наречено изкуствено състаряване. При изкуственото състаряване на образците са използвани следните допускания, прилагайки уравнението на Арениус, при активационна енергия $E=70 \text{ kJ.mol}^{-1}$, $T_1=60^\circ\text{C}$, $T_2=20^\circ\text{C}$, за разглеждан бъдещ период от 6 години, при коефициент на реакция на ускорението $F=24,33$. При тези допускания, съгласно условията указани в АОР-46 [56], е необходимо престояване на пробите за 90 денонощия при температура от 60°C . С цел изследване на тенденциите в резултатите при различните методи, определени проби са изкуствено състарени с 65, 45, 90 или 150 денонощия и където е възможно са извършени съответните физико-химични, механични и други изпитвания.

След приключване на процеса по изкуствено състаряване, пробите са извадени от сушилнята и охладени до температурата на лабораторната среда. Извършен е външен оглед на пробите за наличие на пукнатини, кухини и други промени във външния вид, като такива не са установени. При механичните, физикохимичните, инфрачервената спектроскопия и термичните тестове на смесово гориво от БРД на Изделия 1 (КГ1) и Изделие 2 (КГ2) са използвани пробите, съгласно Таблица П10.5 на Приложение 10 (съгласно дисертацията). При балистичните изпитвания са представени и анализирани резултати от провежданите периодично изпитвания на БРД на ЦАТИП-Змейово. Не са представени резултати от апаратурна проверка и функционални изпитвания на агрегати от състава на Изделие 1 и 2, поради нивото на класифицираност.

3.1. Балистични изпитвания

Вид на изпитването: Стационарно наземно балистично изпитване [15,16].

Цел на изпитването е проверка на безопасната работа и балистичните параметри на БРД, като изпитвани елементи са: възпламенител, горивен заряд и корпус на БРД. При изпитванията се контролира: време на работа $t_{\text{раб}}$, време

за превеждане в работен режим $t_{\text{раб}}$, маса на заряда $m_{\text{зар}}$, пълен импулс на тягата P , максимален импулс на тягата P_{max} , специфичен импулс на тягата $J_{\text{сп}}$.

От извършените изпитвания за Изделие 1 и 2 се вижда запазването на балистичните параметри на БРД в период от 34 г, което отговаря на прогнозните в специализираната литература [92]. Не се наблюдават тенденции към намаляване на тягата, възникването на откази или промени в работния режим на двигателите. Метода за изпитване дава пълна информация за моментното състояние на двигателите, но не позволява прогнозиране на бъдещи промени. За Изделие 2 ясно се вижда разликата в параметрите на работа на двигателите от различните партии, като БРД от партида от 1989 г. изначално показват по-ниска тяга от порядъка на средно 450 kgf, но в рамките на техническите изисквания. Този факт показва, че групирането на различни партии в сборна партида с последващо изпитване на единици образци само от една партида може да доведе до некоректни резултати за сборната партида и да бъдат пропуснати опасни тенденции или грешни изводи. Като минуси на досега проведените изпитвания може да се определи избора на случаен принцип¹⁸ и липсата на темперирание и изкуствено състаряване преди изпитване на образците.

Препоръки за бъдещо развитие на метода:

1. При избора на образците за изпитване да се спазва принципа за определяне на такива с най-тежък профил на средата при експлоатация и при сборни партии да има минимум по един образец от всяка партида, като сборната партида да бъде най-много от две съседни години.

2. Да се използва темперирание на образците за изпитване, като за предпочитане е да се спазват принципите залегнали в AAS3P-12 [30], а именно - 55°C и +63°C;

3. Преди изпитване да се извършва изкуствено състаряване на образците БРД, съгласно М1-63 [129] или AAS3P-12[30].

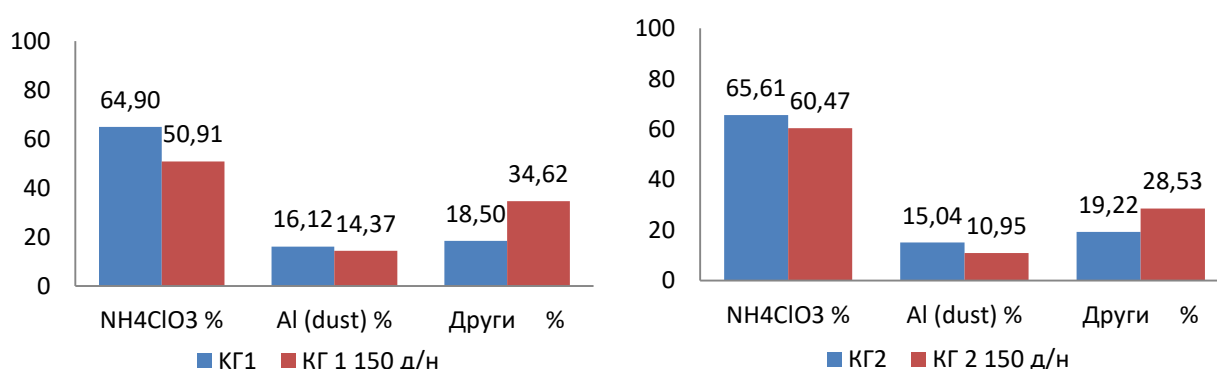
¹⁸ Не се избират образци с най-тежък профил на средата, това се дължи на непълната информация относно тяхното движение в експлоатацията.

3.2. Физико-химични изпитвания

3.2.1. Вид на изпитването: Определяне на състава и химическата стабилност на смесово гориво от Изделие 1 и Изделие 2, съгласно СПП 401-128-98, СА 0.6683-2014 и Гост В 2264-77.

Цел на изпитването е изследване на тенденциите на промяна на количеството основни съставки и химическата стабилност на горивото като функция от времето.

Всички проби отговарят на изброените стандарти, но при детайлен анализ на представените резултати се открояват определени тенденции. На първо място прави впечатление намаляването на процентното съдържание на окислителя (амониев перхлорат) и част от горивото (алуминий на прах). На Фиг.3.9. е визуализирано процентното изменение на състава на изпитваните горива след изкуствено състаряване от 150 денонощия, при запазване на плътността им от $1,7\text{g/sm}^3$.



Фиг.3.9. Изменение на състава на проби КГ1 и КГ2

Изменението на състава при двете смесиви горива се различава съществено. При пробата от Изделие 1 окислителя намалява с 14%, а при Изделие 2 е приблизително 5%, от друга страна алуминия на прах намалява съответно с 2% и 4%. Запазването на плътността говори, че при изкуственото състаряване протичат физически и химически процеси, като автокатализа например, които променят състава на горивото. Имайки в предвид, че горивото се намира в среда на инертен газ в корпуса на БРД, а след неговото извличане попада в атмосферна среда, химични елементи, като кислород и др., започват да оказват агресивно влияние върху неговия състав. За тези процеси допринася

и сравнително малките размери на образците в сравнение с този на целия заряд. Разбира се съществува възможност разликата в съдържанията на основните компоненти, най-вероятно да се дължи на изначалната непълна еднородност на сместа, поради неговата зърнеста структура. Тази възможност съпроводена с сравнително малките количества отделяни за този вид изпитвания проби да доведат до констатираните разлики в съдържанието на основните съставки на горивото. Като цяло това предполага липса на точност в изпитването и е необходимо то да си приема като чисто информативно.

Друга наблюдавана тенденция е устойчивото запазване на запаса от химическа стабилност от няколко порядъка при всички извършени изпитвания. Това се обяснява с факта, че за да има отделяне на хлорни окиси е необходима по-висока температура от използваната при манометричния метод, което прави използвания метод неприложим за разглежданото смесово гориво.

Препоръки за бъдещо развитие на метода:

1. Да се извличат максимално големи проби от смесово гориво, които да бъдат съхранявани и в последствие изкуствено състарявани в среда от инертен газ.

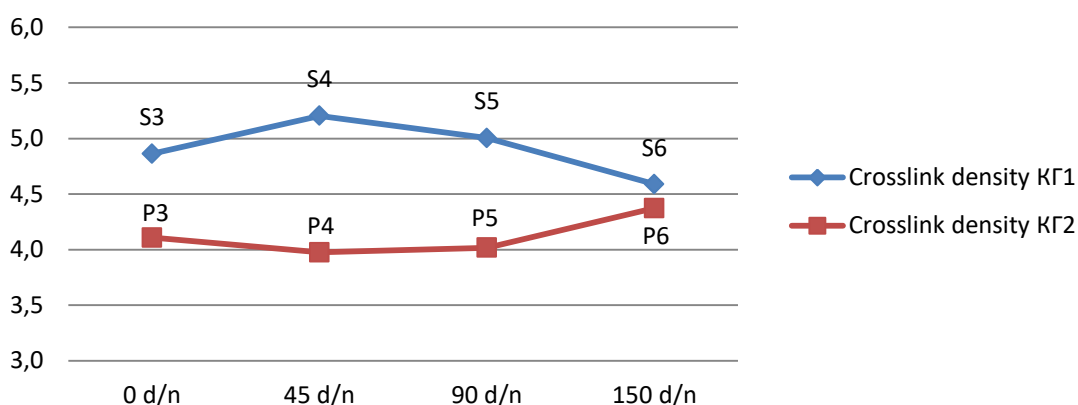
2. Да не се взема проба за определяне на състава на смесевото гориво от повърхностните слоеве на образците, а само от възможно най-вътрешната част, не подложена на влиянието на атмосферата.

3. Резултатите за химическата стабилност на смесевото гориво получени по манометричен метод да не служат за основа на вземане на решение при удължаване срока на годност на АУР включващи в състава си БРД със смесово гориво на основата на амониев перхлорат.

3.2.2. Вид на изпитването: Определяне на разтворимата фракция на проби от смесово гориво от Изделие 1 и Изделие 2, съгласно ANEX D, Изпитване 1A, STANAG 4581.

Целта на изпитването е определяне на степента на омрежване на полимерната мрежа на горивото. Контролирани параметри са: разтворима фракция S и плътността на кръстосаното свързване в горивото (Crosslink density).

Тенденциите на изменение на степента на омрежване на полимерната мрежа на проби от зарядите на БРД от Изделие 1 и 2 са представени на Фиг.3.10. Откроява се различното поведение на двете горива, които въпреки че променят степента на омрежване в различна посока след състаряване от 150 денонощия показват почти идентични резултати. Явно няма критични изменения на стойностните, което говори за стабилността на степента на омрежване на полимерна мрежа. Метода отчита промяната в параметрите и е приложим при оценка на техническото състояние на смесово гориво от изпитвания вид. Трябва да се отчете, вече изложената особеност на полимерите използвани в смесевото гориво, че при излагане на атмосферна среда е твърде възможно протичане на процесите на окислително омрежване. Това със сигурност ще промени резултатите от фактори, не съществуващи при херметично състояние на заряда в инертна среда.



Фиг.3.10. Изменение на степента на омрежване при изкуствено състаряване на образците

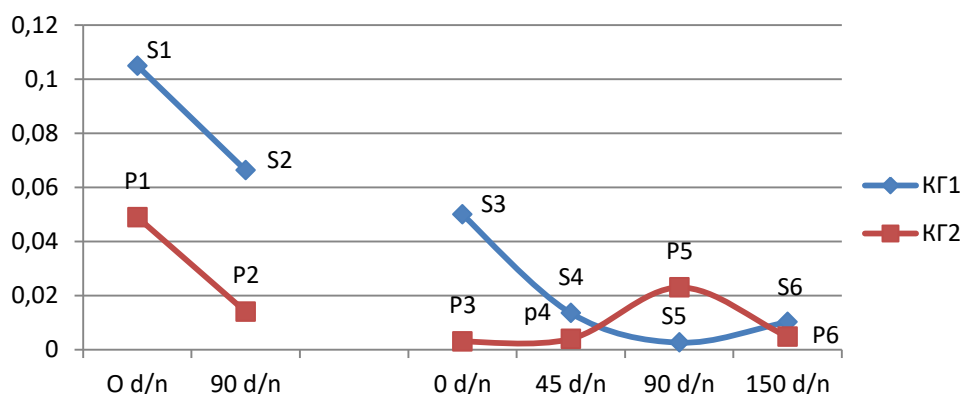
Препоръки за бъдещо развитие на метода:

1. Отчитайки факта, че такива изпитвания се извършват за първи път и до момента липсва ясна статистическа информация за поведението на смесевото гориво при изкуствено състаряване е необходимо провеждането на допълнително количество тестове.
2. Екстракцията да се извършва посредством апарат „Soxhlet”.
3. За минимизиране възможността за протичане на окислително омрежване в смесевото гориво, съхранението и изкуственото му състаряване да се извършва в инертна среда.

3.2.3. Вид на изпитването: Измерване на плътността на омрежване на полимерната мрежа на проби от смесово гориво от Изделие 1 и Изделие 2, съгласно ANEX D, Изпитване 1B, STANAG 4581.

Целта на изпитването е определяне на тенденцията на промяна на плътността на омрежване на полимерната мрежа при изкуствено състаряване на смесово горивото. Контролирания параметър е плътност на кръстосаните връзки между полимерните вериги в горивото – С.

Тенденциите на изменение на плътността на омрежване на полимерната мрежа на проби от зарядите на БРД от Изделие 1 и 2 са представени на Фиг.3.12. Резултатите показват отчитане на промяната на плътността на двата типа смесово гориво в зависимост от периода на изкуствено състаряване. Откроява се различното поведение на двете горива, които въпреки че променят плътността на омрежване в различна степен след състаряване от 150 денонощия показват почти идентични резултати. Отново трябва да се обърне внимание на възможността за ускорено настъпване на процеса наречен окислително омрежване, който именно да доведе до намаляване на плътността на кръстосаните връзки, което осезаемо се констатира за КГ1. При извършване на изпитването с използване на тежести, както беше изложено за част от пробите се установиха пукнатини, както и пълно разрушаване на образеца. Това може да се дължи най-вече на промяната на размерите на образците, а не на настъпването на критични промени в неговата структура.



Фиг.3.12. Изменение на плътността на омрежване при изкуствено състаряване на образците

Като цяло, липсата на предварителна информация за размера на плътността на омрежване, не позволява да се прецени на този етап нивото на разграждане на смесевото гориво.

Препоръки за бъдещо развитие на метода:

1. Извършване на допълнителни опити с цел набавянето на статистическа информация.

2. От решаващо значение за достоверността на изпитването е приготвянето на проби с размери съгласно ANEX D, STANAG 4581.

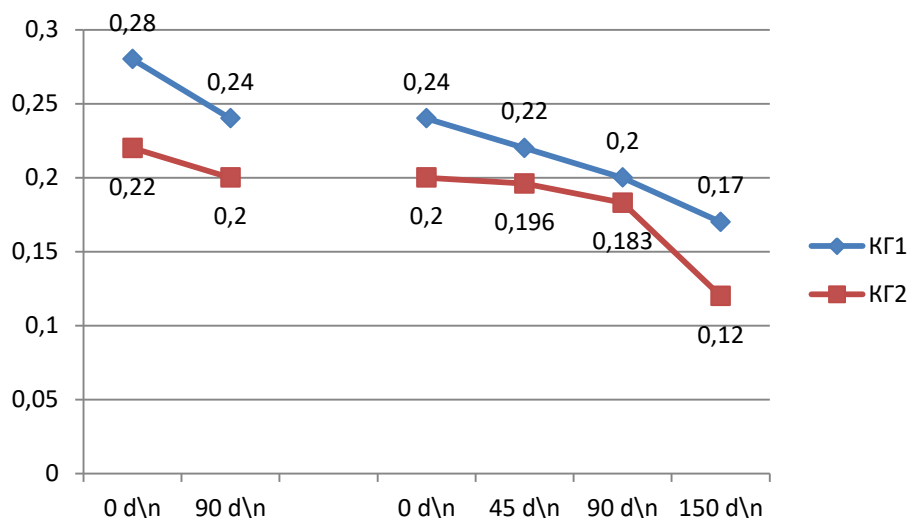
3. За минимизиране възможността за протичане на окислително омрежване в смесевото гориво, съхранението и изкуственото му състаряване да се извършва в инертна среда.

3.2.4. Вид на изпитването: Измерване на съдържанието на антиоксиданти в проби от смесово гориво от Изделие 1 и Изделие 2, съгласно ANEX D, Изпитване 1C, STANAG 4581.

Целта на изпитването е с използване техниките на течната хроматография (High-Performance Liquid Chromatography – HPLC) да се определи тенденцията на изменение на количеството антиоксиданти при прилагане на изкуствено състаряване на изпитваното смесово гориво. Контролираният параметър е сумата на пиковете при HPLC.

Съгласно руската специализирана литература [4], съдържанието на антиоксиданти в гориво от този тип може да варира до 1% от общия обем, което говори за достоверност при получените резултати. Поради липса на информация за точния вид на използваните в горивото антиоксиданти е нужно да се вземе под внимание възможността, отразена в специализираната литература [134,4], а именно, че някои антиоксиданти могат да бъдат много реактивни спрямо всички видове изоцианати. Като следствие, такива антиоксиданти са прикрепени към края на молекулната верига на полимерната мрежа чрез ковалентна връзка и следователно не могат да бъдат екстрахирани. Съществува възможност при използваният метод част от отчетените резултати да представляват пластификатори. Ако се абстрахираме от описаната възможност и анализирайки получените резултати предоставени на Фиг.3.13. се вижда почти еднотипно влияние на изкуственото състаряване при КГ1 и КГ2

върху нивото на антиоксиданта и при 150 денонощия достигат до нива 0,17% и 0,12%, което говори за неговото изчерпване.



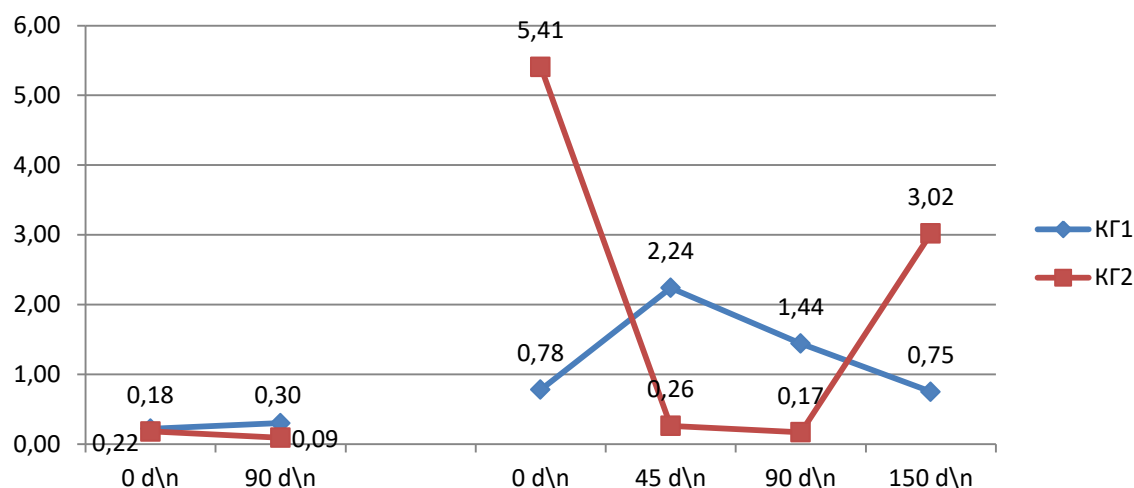
Фиг.3.11. Изменение на съдържанието на антиоксиданти при изкуствено състаряване на образците

От направените изпитвания може да се стигне до извода, че описания метод за изпитване с HPLC, съгласно STANAG 4581 е приложим за смесово гориво от вида на това използвано в Изделие 1 и 2, но при модифициране на метода с увеличаване на температурата до 50°C и дължината на вълната на 254 nm.

Препоръки за бъдещо развитие на метода: За да се увеличи достоверността на използвания метод на изпитване е необходима точна информация за вида на антиоксиданта. Измерването на проба сравнителен образец ще даде достоверност на изпитванията, както и възможност за точно калибриране на апаратурната част.

3.2.5. Вид на изпитването: Измерване на съдържанието на пластификаторите в проби от смесово гориво от Изделие 1 и Изделие 2, съгласно ANEX D, Изпитване 1D, STANAG 4581.

Целта на изпитването е с използване техниките на газовата хроматография (GC) да се определи тенденцията на изменение на количеството на пластификаторите при прилагане на изкуствено състаряване на изпитваното смесово гориво. Контролирания параметър са сумираните пикове при GC. Резултатите са представени на Фиг.3.14.



Фиг.3.14. Изменение на съдържанието на пластификаторите при изкуствено състаряване на образците

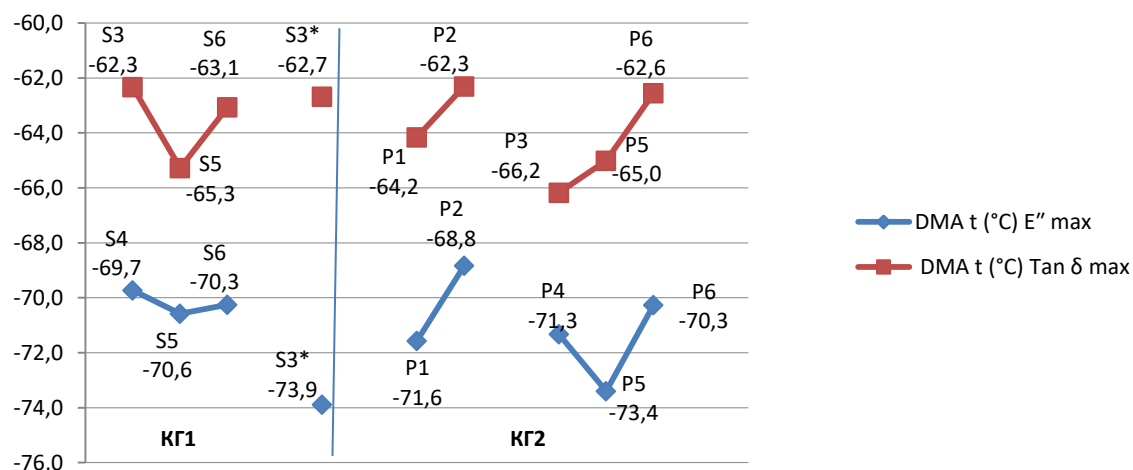
Съгласно руската специализирана литература [4], съдържанието на пластификатори в гориво от този тип може да варира до 5 % от общия обем. Вижда се, че два от резултатите получени за KГ2 (при 0d/n и 150 d/n) се отличават с високи стойности, като във същото време останалите резултати за KГ2 са от порядъка на 0,50 %. Тези резултати не могат да бъдат приети за достоверни. Поради липса на информация за точния вид на използваните в горивото пластификатори е нужно да се вземе под внимание възможността, отразена в специализираната литература [134,4], а именно, че някои видове пластификатори могат да бъдат абсорбирани от антиоксидантите намиращи се в състава на горивото. Съществува възможност при използваният метод част от отчетените резултати да представляват други подобни вещества и съединение. Като цяло при анализиране на получените резултати не могат да се открият закономерни тенденции на промяна на количеството пластификатори при изкуствено състаряване, както не може да се приемат получените резултати като абсолютно достоверни.

Препоръки за бъдещо развитие на метода: Необходимо е извършването на допълнителни тестове, по възможност след идентифициране на точните видове използвани пластификатори.

3.3. Механични изпитвания

3.3.1. Вид на изпитването: Извършване на DMA на проби от смесово гориво от БРД на Изделие 1 и Изделие 2, съгласно STANAG 4540 и 93.

Целта на изпитването е определяне на температурата на фазовите преходи на изследваното смесово гориво. Контролираните параметри са максимална стойност на E'' и $\tan \delta$. Получените резултати, от извършването на DMA на смесово гориво от Изделие 1 (S3, S5 и S6) и Изделие 2 (P1, P2, P3, P5 и P6), са обобщени и представени на Фиг. 3.16.



Фиг.3.14. Изменение на t (°C) E'' max и t (°C) $\tan \delta$ max. на KГ1 и KГ2

При детайлно сравняване на получените резултати и тенденциите в изменението на температурата на встъкляване, преди и след изкуствено състаряване, показани на Фиг.3.14. могат да се отбележат значителните разлики от порядъка на $6 \div 8^\circ\text{C}$ при определянето на T_g при E'' max и $\tan \delta$ max. Като цяло разликата между температурите на встъкляване определени по максималната стойност на $\tan \delta$ и E'' е от порядък от 11 до 5 $^\circ\text{C}$. Ако се придържаме към STANAG 4540, където е посочено, че T_g се определя по E'' max, се наблюдава че проби S5 и P5, изкуствено състарени при 60°C за 90 денонощия, показват едновременно по-ниски стойности на T_g от тези преди състаряването (S4 и P4). От друга страна проба извлечена от състава на БРД (P2) и престояла значителен период от време в атмосферна среда, дори и херметично затворена след състаряване показва обратната тенденция (P3). Тенденцията обаче се променя след допълнително състаряване с още 50 денонощия, като и при двете изследвани горива се наблюдават по-високи стойности на прехода, по-забележимо при KГ2.

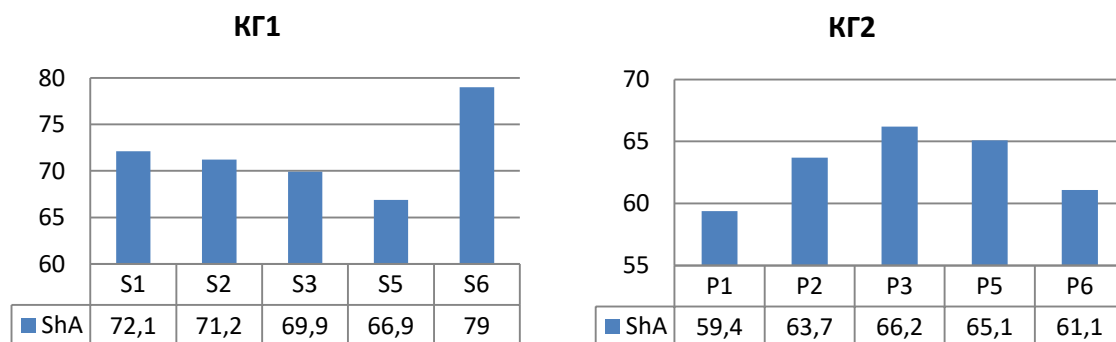
От получените преходи на едно и съща проба при различни честоти на изпитване се виждат съществени разлики в качеството на измерване и получените резултати. Съгласно STANAG 4540 честотата трябва да бъде 1 Hz, но изпитванията показват по-добри и близки резултати при 5 и 10Hz, както е препоръчано в 93.

Съпоставено с изискванията за минималната стойност на точката на встъкляване за двете изпитвани горива се удостоверява, че и след състаряване те се запазват в необходимия диапазон. Като цяло може да се заключи, че метода е приложим, отчита точно настъпващите фазови преходи, но трябва да се има в предвид представените особености.

Препоръки за бъдещо развитие на метода: При изпитването да се използва приставка за 3-точково огъване при честота от 5 Hz, като точката на встъкляване да се определя по E'' max.

3.3.2. Вид на изпитването: Извършване на изпитвания по Shore A на проби от смесово гориво от БРД на Изделие 1 и Изделие 2, съгласно Standard D2240.

Целта на изпитването е определяне на промяната на твърдостта на пробите преди и след изкуствено състаряване. Контролира се твърдостта по скалата на Shore A от 0 до 100 единици.



Фиг.3.20. Изменение на твърдостта при изкуствено състаряване на образци от КГ1 и КГ2

При детайлно сравняване на получените резултати преди и след изкуствено състаряване, показани на Фиг.3.20. могат да се отбележат различни тенденции за изменение на механичната твърдост при КГ1 и КГ2. При КГ1 твърдостта на проба S3 след 90 денонощия изкуствено състаряване (S4)

намалява с 3 единици, а след допълнителни 50 денонощия (S5) съществено увеличава своята твърдост, с приблизително 12 единици, което е значителна промяна. При КГ2 наблюдаваме устойчиво намаляване на твърдостта във функция от времето за изкуствено състаряване (P3,P5 и P6), като тази промяна се заключава в приблизително 5 единици. Изменението на твърдостта, на проби от КГ1 и КГ2, извлечени преди известен период от време (S1 и P1), също след изкуствено състаряване показват промяна с различен по между си знак и степен.

От представените резултати може да се направи извода, че двата вида смесово гориво се намират в различна степен на запазване на своите механични качества, при КГ2 не се наблюдават резки изменения, докато при КГ1 се констатира значително нарастване на твърдостта на пробата след 140 денонощия на изкуствено състаряване. Втвърдяването на заряда от смесово гориво крие рискове от поява на пукнатини, отлепвания при прокладката и най-вече по-висока зависимост от вибрационните процеси протичащи при полет с носителя.

Като цяло използваният метод показва достоверни резултати и благодарение на него могат да се следят тенденциите в изменението на механичните качества на смесовото гориво. Методът е лесен за прилагане, в БА съществуват способности за неговото използване и необходимо въвеждането му при подобни изпитвания.

Препоръки за бъдещо развитие на метода:

Въвеждане на метода при оценка на техническото състояние на смесово гориво. Натрупване на статистическа информация и при констатирани значителни отклонения в твърдостта на пробите да се назначават допълнителни изпитвания, целящи удостоверяване механичните свойства на изпитваното смесово гориво.

3.4. Термични изпитвания

Вид на изпитването: Извършване на DSC анализ на проби от смесово гориво на Изделие 1 и Изделие 2 съгласно STANAG 4515 ed.2 и [146].

Целта на изпитването е определяне на температурата на фазов преход на изследваното смесово гориво. Контролиран параметър е температурата на фазовите преходи T_g^1 .

Извършените изпитвания показаха невъзможност за прецизно определяне на преходите на встъкляване на изпитваните проби. Наличието на два прехода най-вероятно се дължи на наличието на два различни вискоеластични материала в състава на горивото. При сравняване на получените резултати от проби, преди и след състаряване се забелязва несъществена промяна в рамките на допустимата грешка за апаратурата, което говори за неприложимостта на метода при изпитване на смесово гориво с техниките на изкуствено състаряване.

3.4. Инфрачервената спектроскопия

Целта на изпитването е оценка на възможността за сравнителен анализ на проби смесово гориво, преди и след изкуствено състаряване с методите на инфрачервената спектроскопия.

От извършения инфрачервен спектрален анализ се установява съдържането на NH_4ClO_3 , dioctyl phthalate (пластификатор), наличието на полимери, както и други материали за който не се разполага с база данни. При сравняване на получените резултати ясно се вижда, особено при КГ1 запазването на състава след състаряване, но съществена промяна в количествата на някои от веществата. Това доказва, че при избраният модел за изкуствено състаряване, протичат химични реакции, имитиращи продължителен срок на годност и се улавят тенденциите на изменение на процентното съдържание на основните компоненти на горивото.

Извършеният инфрачервен спектрален анализ показва приложността му като бърз, точен и сравнително евтин метод за удостоверяване на състава на смесевите горива и настъпващите промени след изкуствено състаряване. За да може да се използва пълноценно този вид анализ е необходимо генерирането на специализирана база данни за основните компоненти на горивото, такава към момента липсва.

3.5. Анализ на получените резултати. Определяне на остатъчния срок и следващи мероприятия по контрол на годността на АСП.

В процеса на проведените изпитвания и оценка адекватността и приложимостта на приложените методи се достигна до резултати, които могат да се разделят в четири основни групи:

Достоверни резултати, точно удостоверяващи техническото състояние на изпитваните образци в момента на изпитване. За такива могат да се приемат: балистичните изпитвания, апаратурната проверка, визуален контрол, функционални изпитвания на критични агрегати и летателни изпитвания. Положителните резултати от тези изпитвания дават необходимата информация за безопасността и пригодността на боеприпасите за използване по предназначение към момента. При този вид изпитвания за съжаление не се получава информация за бъдещ период, което затруднява определянето на остатъчния срок на годност;

- **Достоверни резултати**, постигнати с използването на изкуствено състаряване на критични елементи от състава на боеприпаса. За такива на този етап могат да се приемат: *Изпитване 1A и 1C от STANAG 4581, DMA (съгласно STANAG 4540) и изпитвания по Shore A (съгласно Standard D2240)*. Положителните резултати от тези изпитвания дават информация за въдещото състоянието на смесевото гориво, като най-критичен елемент от състава на АУР;

- **Перспективни** – Получените резултати не могат да бъдат приети за достоверни на този етап, липсват база данни за част от материалите или е необходима допълнителна работа по прилагането на използваните методи, но при бъдещо развитие е възможно получаването на необходимата информация, която да бъде достоверна, моментна ли с времеви измерител. На база направените изпитвания за такива можем да приемем: част от

физикохимичните изпитвания, а именно: *Изпитвания 1B и 1D, STANAG 4581, както и резултатите от инфрачервената спектроскопия;*

- **Неприложими** – Получените резултати не носят необходимата информация и ползването им може да доведе до грешни изводи и заключения. За такива най-вече могат да бъдат приети резултатите от определянето на състава и химическата стабилност на смесево гориво. Такива резултати се ползваха като основен времеви измерител за удължаване срока на годност на АУР през годините, но както беше доказано този подход е грешен и получената информация е некоректна. Към този вид резултати могат да се прибавят и получените с методите на DSC. При сравняване на получените резултати от DSC на проби, преди и след състаряване се забелязва несъществена промяна в рамките на допустимата грешка за апаратурата, което говори за неприложимостта на метода при изпитване на смесево гориво с техниките на изкуствено състаряване.

При положителни резултати от проведените изпитвания, съществуват два подхода за удължаване срока на годност на разглежданите боеприпаси. При първият подход, на база извършено изкуствено състаряване на критичните елементи от състава на боеприпаса и положителни резултати от последвалите изпитвания да се удължи срока на годност с периода равен на симулирания с изкуственото състаряване. При вторият подход, срока на годност се увеличава за по-кратък период от този на симулирания с изкуствено състаряване и се назначават периодични изпитвания носещи достоверна моментна информация. Първият подход е приложим за сравнително нови изделия, на които изтича гаранционния срок назначен от производителя. При боеприпаси на които многократно е удължаван срока на годност е по-приложим вторият подход с цел увеличаване степента на безопасност при експлоатация.

Представените резултати в настоящата Глава позволяват вземането на мотивирано решение за удължаване срока на годност на изследваните

Изделие 1 и Изделие 2. Проведени изпитвания показват запазване до момента на балистичните качества на БРД, без отклонения от техническите изисквания и констатирани опасни тенденции. При използването на изкуствено състаряване се наблюдава запазване на механичните качества на изпитваното гориво и за бъдещ период. Използвайки добрите практики, представени в Глава I за изградените системи в НАТО за мониторинг техническото състояние на боеприпаси S3 и ISS е целесъобразно използвайки получените резултати и направените изводи да се регламентират последователност от мероприятия за контрол на състоянието на АУР с удължен срок на годност, които е препоръчително да включват:

- ежегодно извършване на регламентни работи, включващи апаратурна проверка и външен оглед, като получените резултати се обобщават и анализират тенденциите в изменението на параметрите на системите за управление на АУР;

- резултатите от учебно-бойни стрелби да се анализират за опасни явления;

- в края на всяка календарна година да се изчислява коефициент за техническа готовност за съответната партида (сборна партида) за текущия и прогнозен период;

- да се назначат периодични изпитвания, по-възможност преди провеждането на учебно-бойни стрелби. Целесъобразно е периодичните изпитвания да включват: балистични и функционални изпитвания.

- преди изтичане на новоназначения срок на годност да се проведат изпитвания с използване на изкуствено състаряване.

4. Изводи от прилагането на разработения подход за удължаване на срока на годност на АСП

В настоящата глава е решена четвърта задача на дисертационния труд, при което могат да се направят следните изводи:

4.1. Използваният подход с използване на ускорено състаряване на опитните образците за оценка на техническото състояние на АУР намиращи се на въоръжение във Военновъздушните сили е приложим в процеса на удължаване срока им на годност.

4.2. Използването на стандарт БДС ISO 2859-1, с прилагането на принципите за балансираност и диференциация на изпитваните образци от една партида (сборна партида) в различни групи в зависимост от профила на средата позволява успешно прецизиране на начина на определяне на представителните извадки за изпитвания.

4.3. При анализа на получените резултати, различните видове и типове методи за изпитване на компоненти от АУР на въоръжение във ВВС могат да се разделят на три групи, според степента на тяхната приложност:

4.3.1. Приложими методи за изпитване, с достоверни и носещи необходимата информация резултати. Такива методи са балистичен, изпитвания 1А и 1С STANAG 4581, Shore A и DMA.

4.3.1. Приложими (перспективни) методи за изпитване при който е необходимо допълнително натрупване на информация за удостоверяване истинността на резултатите. Такива методи са изпитвания 1В и 1D от STANAG 4581 и инфрачервената спектроскопия.

4.3.1. Неприложими методи за изпитване, не носещи необходимата пълноценна информация. Такива методи са изпитване на химическа стабилност по манометричен метод за смесево гориво и DSC.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализът на специализираните източници на информация показва, че в международен мащаб съществуват изградени системи за мониторинг на техническото състояние на боеприпасите, като използваните в НАТО системи S3 и ISS. Същевременно тези системи използват голям брой сертифицирани и верифицирани методи за изпитване от базисен и предвиждащ тип, който позволяват набавянето на необходимата информация за тенденциите на изменение на техническото състояние на експлоатираните боеприпаси. В изложението се доказва, че българската армия използва ограничено количество, морално остарели и не отчитащи световните практики методи за изпитване. Съществуващата на национално ниво система е неадекватна и се нуждае от сериозна промяна. Тази промяна е възможно да настъпи само при използването, в адаптиран вид, на нормативната база на НАТО, като концептуален и технически нормативен фундамент за контрол и оценка на годността на боеприпасите.

В периода 2019÷2021 г., в хода на изследователската работа се извършиха експерименталните изследвания и изпитвания, по-голямата част от които са поместени в Глава III. Извършването на тези дейности съвпадна с процеса по удължаване срока на годност на АУР за близък маневрен бой на Военновъздушните сили. В процеса на удължаването се използва експериментално представения в настоящия труд подход, при което за първи път в Българската армия се приложиха успешно стандартизиращи документи на НАТО в областта, като AOP-46, STANAG 4581, STANAG 4540 и Standard D2240. Вследствие на резултатите от настоящото изследване за първи път се извърши удължаване на годността на АУР, при достигане на по-високо ниво на достоверност, прилагайки и трите дефинирани в Глава I на настоящия труд направления, а именно:

1. *Въвеждане на подход за оценка на техническо състояние на АСП с използване на ускорено състаряване на опитните образци.* Достигна се до извода, че най-приложимо е изкуственото състаряване на образците при използването на зависимостта на енергията на активиране на отказа от постоянна въздействащата температурата от 60°C, представена чрез уравнението на Арениус и отчитайки особеностите отразени в АОР-46. Експерименталните резултати доказаха приложността на подхода, но и показаха необходимост от допълнително натрупване на информация за удостоверяване истинността на някои от резултатите.

От съществено значение е заключението, че за боеприпаси чиито срок е няколкократно удължаван е целесъобразно при извършено изкуствено състаряване на критичните елементи от състава на боеприпаса и положителни резултати от последвалите изпитвания, удължения срок на годност да е по-кратък период от този на симулирания с изкуствено състаряване. В периода на удължен срок на годност е важно назначаването на периодични базисни изпитвания носещи достоверна моментна информация. Този подход е използван при удължаването срока на АУР и предполага покриване на добрите практики за мониторинг техническото състояние на боеприпаси S3 в НАТО.

2. *Въвеждане на нови и постоянно развитие на използваните методи за изпитване, даващи по-пълна и точна информация за състоянието на АСП.* В предложеният подход за удължаване срока на годност на АУР се доказва като успешно използването на комбинацията от базисни и предвиждащи методи за изпитване. При избора на предвиждащи методи се използва за първи път ускореното състаряване. При използването на базисни методи за изпитване се доказва значението от натрупване на статистическа информация, за да бъдат контролирани тенденциите на изменение. Като приложим подход за определяне на методите за изпитване се определи използването на експертна група, извършваща декомпозиране на боеприпаса, определяне на степента на

критичност на елемента/системата, резултатите от стареене/отказ и възможния ефект от тях върху годността и безопасността на боеприпаса. В зависимост от получените резултати, използваните опитно методи може да се разделят в три групи:

- *доказано приложими методи за изпитване*, с достоверни и носещи необходимата информация резултати. Такива методи са стационарно наземно балистично изпитване, физико-химични изпитвания 1A и 1C от STANAG 4581, механични изпитвания Shore A съгласно Standard D2240 и особено DMA съгласно STANAG 4540. Необходимо е да се обърне внимание, че беше доказано постигането на по-коректни и верни резултат при използването на честотата от 5Hz вместо указаната такава от 1 Hz за DMA в STANAG 4540, Тези резултати е възможно да послужат за развитие на стандарта;

- *приложими методи за изпитване* при който е необходимо допълнително натрупване на информация за удостоверяване истинността на резултатите. Такива методи са STANAG 4581 изпитвания 1B и 1D и инфрачервената спектроскопия.

- *неприложими методи за изпитване*, не носещи необходимата пълноценна информация. Такива методи са изпитване на химическа стабилност по манометричен метод за смесово гориво и DSC. От особена важност е направения извод, че манометричен метод е абсолютно неприложим за смесово гориво, а именно чрез него през годините единствено се изследваше този тип гориво и резултатите се използваха за удължаване срока му на годност;

3. *Прецизиране на начина на определяне на представителните извадки за изпитвания.* За целите на изследването се използва стандарт БДС ISO 2859-1 в частта си „Планове за вземане на извадки, индексирани по граница за качество при приемане (AQL), за контрол партида по партида”. В хода на работата се доказва приложимостта на стандарт БДС ISO 2859-1 с прилагането на

принципите за балансираност и диференциация на изпитваните образци от една партида (сборна партида) в различни групи в зависимост от профила на средата. Тези принципи са използвани в процеса на удължаване на годността на АУР, което съществено намали възможността от неправилно определяне на образците за изпитване с което се повиши достоверността на получените резултати.

В заключение искам още веднъж да подчертая, че благодарение на представеният в настоящия труд подход и извършените в хода на работата експерименталните изследвания и изпитвания се осигуриха с технически изправни, притежаващи достатъчно ресурс авиационни управляеми ракети, необходими за изпълнението на основната мисия на Военновъздушните сили, а именно осигуряването на националния суверенитет чрез наблюдение, контрол и защита на въздушното пространство на Република България, в рамките на интегрираната система за противовъздушна отбрана на НАТО.

Благодаря на личностите участвали подпомогнали моята дейност по подготовка на дисертационния труд:

1. Моят научен ръководител полковник доц. д.н. Борислав Генов и проф. Христо Христов, и подполковник доц. д-р Илиян Хутов от Институт по отбрана „Професор Цветан Лазаров”;

2. Инж. Неделчо Йорданов, инж. Станка Костова, Христина Вълкова и Елена Шаркова от Арсенал АД - Казанлък;

3. Инж. Делян Начев, инж. Кирчо Златев от „НИТИ” ЕАД – Казанлък;

4. Инж. д-р Пенчо Тулешков от Българска академия на науките - Институт по полимери.

НАУЧНИ, НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

В разработения дисертационен труд претендирам за следните приноси, които са формулирани и систематизирани по следния начин:

I. Научно-приложни приноси

1. Създаден е нов подход при оценката на техническото състояние на АУР, базиран на иновативни методи за оценка и контрол.

2. Въведен е нов научнообоснован подход за систематизиране на информацията при оценка на техническото състояние на АСП.

3. Разработени са методики за оценка на техническото състояние с апробирани резултати от дисертационния труд;

II. Приложни приноси

1. Анализ на съществуващите практики, подходи и методи за мониторинг на техническото състояние на боеприпасите;

2. Въведен е многокритериален подход за използване на методите за оценка на техническото състояние на АУР;

3. Доказана е приложимостта на верифицирани и валидирани методи за оценка на техническото състояние на елементи от АУР, за сметка на използвани до този момент;

4. Получени са нови данни за балистични, физико-химични и механични характеристики на БРД и смесево гориво;

Еднозначно декларирам, че приносите са лично мое дело

СЪКРАЩЕНИЯ

AASTP - Allied Ammunition Storage and Transport Publication

AAS3P - Allied Ammunition Safety and Suitability for Service

AECTP - Allied Environmental Conditions and Test Publication

ASP - Assessment Testing Publication

DMA - Dynamic Mechanical Analysis (динамично механичния анализ)

DSC - Differential Scanning Calorimetry (диференциално сканираща калометрия)

E3 - electromagnetic environmental effects

FLQ - (от англ. The Functional Limited Quality level; функционално ниво на качество на приемане) – минималното ниво на качество, при което се счита, че боеприпасите могат да се използват за оперативни цели

GC - Gas Chromatography

HPLC - High-Performance Liquid Chromatography

IM - Insensitive Munitions

ISS - In-Service Surveillance (Технически контрол) - Контрол без откъсване от експлоатацията се състои от планирано изтегляне на боеприпаси от работната среда за технически преглед или периодично обслужване (регламентни работи).

LCEP - Life Cycle Environmental Profile – профил на околната среда по време на жизнения цикъл.

MDTS - Manufacture to Target or Disposal Sequence – от производството до използване или унищожаване

NDC - non-destructive control

NDT - non-destructive testing

OLQ - (от англ. the Operational Limited Quality level; оперативно ниво на качество на приемане) – минималното ниво на качество, при което се счита, че боеприпасите остават на съхранение, като могат да се използват за оперативни цели или за тренировъчни цели или учения

SALQ - (от англ. Standard Acceptance Limited Quality; стандартно ниво на качество на приемане) – минималното ниво на качество, при което боеприпасите се приемат на експлоатация

SFU - safe for use (годен за използване по предназначение)

S3 - Safety and Suitability for Service - безопасни и годни за експлоатация

WLA - Whole Life Assessment

АСП - авиационно средство за поразяване
АУР - авиационна управляема ракета
БАК - боен авиационен комплекс
БРД - барутен ракетен двигател
АП – авиационен патрон
БР – бронеразривен
БТ - бронетрасиращ
ВоВС - военно въздухоплавателно средство
ИЧ - инфрачервената спектроскопия
НАР – неуправляема авиационна ракета
ОФЗ – осколочно-фугасен запалителен
СТРГ - смесиви твърди ракетни горива

АВТОРСКИ ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

АП1. Неделчев Д., Подход за удължаване на срока на експлоатация на авиационни управляеми ракети „въздух-въздух“ намиращи се на въоръжение в българските Военновъздушни сили – текущо състояние и бъдещи насоки, Сборник доклади от Годишна международна научна конференция на Факултет „Авиационен“ на Национален военен университет „Васил Левски“ – гр. Долна Митрополия, 2018 г.

АП2. Неделчев Д., Научнообоснован подход за удължаване на срока на годност на авиационни боеприпаси, Хемус, Пловдив, 2018 г.

АП3. Неделчев Д., Оптимизиране на периодичността на техническите прегледи и изпитванията на авиационни боеприпаси, Хемус, Пловдив, 2018г.

АП4. Генов Б., Неделчев Д, Миховски М, Мирев, Й. Comprehensive approach for service life assessment of solid-propellant rocket motors, Международна конференция „Дни на безразрушителния контрол 2019“, Созопол, 2019 г.

АП5. Неделчев Д., Балистични изпитвания на барутни ракетни двигатели на авиационни управляеми ракети, Международна научна конференция „Съвременни изследвания и технологии за отбраната“, Варна, 2021 г.

АП6. Неделчев Д., Подход за определяне на Балистични изпитвания на барутни ракетни двигатели на авиационни управляеми ракети, Международна научна конференция „Хемус“ 2022, Пловдив, 2022 г., в процес на редактиране.

ДРУГИ АВТОРСКИ И СЪАВТОРСКИ ДОКУМЕНТИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

УЧЕБНИ ПОСОБИЯ И ЛЕКЦИИ

АУП1 - Неделчев Д., Методическо пособие за начална подготовка по авиационно въоръжение на МиГ-29А/МиГ-29УБ, ЧАСТ I, Теоретична подготовка, Граф Игнатиево, 2017.

АУП2 - Неделчев Д., Методическо пособие за начална подготовка по авиационно въоръжение на МиГ-29А/МиГ-29УБ, ЧАСТ II, Практическа подготовка, Граф Игнатиево, 2017.

НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИ ДОКУМЕНТИ

АНТД1. – Удължаване на срока на служба на 30 mm авиационен патрон с бронебойно-разривен снаряд за оръдия ГШ-30-1 и ГШ-30-2, Методика за изпитване 30АПБР.0000.01.М (30АПБР.0000.02.М), София, 2015.

АНТД2. – Удължаване на срока на служба на 30 mm авиационен патрон с бронебойно-трасиращ снаряд за оръдия ГШ-30-1 и ГШ-30-2”, Методика за изпитване 30АПБТ.0000.01.М , София, 2015.

АНТД3. – Удължаване на срока на служба на 30 mm авиационен патрон с осколочно-фугасен запалителен снаряд за оръдия ГШ-30-1 и ГШ-30-2, Методика за изпитване 30АОФ3.0000.01.М, София, 2015.

АНТД4. – Удължаване на срока на служба на противотанкови управляеми ракети, изделие 9М114, Методика за изпитване ПТУР.9М114.М02, София, 2016.

АНТД5. – Удължаване на срока на служба на авиационни управляеми ракети, изделия 62МК, 72 и 470-1, Методика за изпитване АУР.62МК.72.470-1.М04, София, 2020.

АНТД6. – Удължаване на срока на служба на авиационни управляеми ракети, изделия 62МК и 72, Методика за изпитване АУР.62МК.72.М05, София, 2020.

АНТД7. – Пиропатрони ППЛ и ППЛ-Т, Методика за изпитване ППЛ.ППЛ-Т.0000.02.М, София, 2021.

СТАНОВИЩА, АНАЛИЗИ И ЕКСПЕРТИЗИ

АА1. Неделчев Д. и др., Доклад от извършено проучване: изготвяне на технически спецификации за удължаване срока на службата на 30x165 mm патрони АПБР; АПОФЗ и АПБТ, и пиропатрони ППЛ и ППЛ-Т, София, 2015.

АА1. Неделчев Д. и др., Финален доклад: изследване на нови технологични решения за оценка на техническото състояние на боеприпасите, София 2020.

УЧАСТИЕ НА АВТОРА В НАУЧНОИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ ПРОЕКТИ

АПр1. Изследване на нови технологични решения за оценка на техническото състояние на боеприпасите, 2018÷2020.