

**СИСТЕМА МОНИТОРИНГА АРТИЛЛЕРИЙСКИХ БОЕПРИПАСОВ
И АНАЛИЗ ЕЕ ВОЗМОЖНЫХ СТРУКТУР ПО СТЕПЕНИ РАЦИОНАЛЬНОСТИ**

Основной задачей боевого использования артиллерийского вооружения является нанесение ущерба выбранному объекту противника путем метания боеприпаса в район расположения цели и воздействие по нему поражающим действием снаряда.

В триаде «артиллерийская установка», «приборы управления стрельбой», «боеприпасы» последняя компонента играет особую роль, так как состоит из изделий одноразового использования, которые тратятся в процессе огневого воздействия. Недостаточная точность неуправляемых боеприпасов и ограниченное их могущество, вынуждают решать огневые задачи большим количеством средств поражения, именно поэтому в мирное время создаются значительные по объему запасы артиллерийских выстрелов.

Совокупность химической нестойкости метательных и бризантных взрывчатых веществ, входящих в состав боеприпасов, длительные временные интервалы между их изготовлением и применением, приводят к изменениям технического состояния и, как следствие, боевых свойств боеприпасов. Этот процесс принято называть физическим старением, сопутствующее при этом моральное старение средств поражения выходит за рамки рассматриваемого вопроса и здесь не анализируется.

Следует отметить то, что даже «новые» по календарному сроку эксплуатации артвыстрелы в процессе их боевого применения оказывают негативное влияние на артиллерийскую установку, ухудшая ее баллистические характеристики за счет износа ствола и температурного воздействия на него. Увеличение срока хранения боеприпасов способствует усилению этой негативной тенденции. Таким образом, особенностью систем «боеприпас-артиллерийская установка» и «боеприпас-арсенал» является постепенное изменение технических характеристик и боевых свойств боеприпасов, которые находятся в функциональной зависимости от сроков эксплуатации изделий и условий их хранения.

В период 1937–1994 гг. в Советской армии была сформирована система сбора информации и контроля технического состояния артиллерийских выстрелов [1]. Она включала в себя 12-ть источников, объединенных в пять групп (рис. 1). В первую группу входили мероприятия, связанные с техническими осмотрами (пп. 1–4). Во второй объединялись лабораторные и полигонные испытания (пп. 11, 12). Третью группу составляли элементы централизованного и исследовательского хранения боеприпасов (пп. 8–10). К четвертой и пятой группам относились научно-исследовательские работы и работы связанные с обобщением данных по хранению и результатам практических стрельб.

Мероприятия, приведенные на рис. 1, объединяли усилия войск, эксплуатирующих артбоеприпасы, предприятий по их выпуску и научных организаций, занятых их разработкой. Эта система была сконструирована на обеспечение потребностей вооруженных сил путем отечественного производства боеприпасов всех необходимых номенклатур, осуществления авторского надзора предприятий изготовителей за своей продукцией, организацию своевременной ротации «старых» и «новых» артвыстрелов, интенсивную боевую подготовку, военно-техническое сотрудничество с другими странами.

Современное состояние запасов боеприпасов, находящихся в вооруженных силах Украины характеризуется тем, что:

- практически весь запас артиллерийских выстрелов находится за пределами гарантийного срока их хранения;
- общее количество боеприпасов значительно превышает потребности оборонного ведомства;
- доля боезапаса боевое применение и долговременное хранение, которого запрещено постоянно растет.

Это положение усугубляется отсутствием отечественного производства основных номенклатур артиллерийских выстрелов.

Таким образом, на современном этапе весь запас артбоеприпасов, с целью осуществления его контроля, требует разделения на две части. Первая, так называемая активная часть, объединяет боезапас боевое применение и долговременное хранение, которого разрешено. Этот запас обеспечивает потребности в обороне. Пассивная (избыточная) часть заключает в себе избыточные запасы, запасы боеприпасов, требующие ремонта и утилизации. При этом пассивная часть совокупного боезапаса значительно превышает активную, а процесс старения компонентов боеприпасов еще более усиливает эту диспропорцию, увеличивая объем второй части и сокращая первую. На данный момент сроки, масштаб и способ освежения запасов артбоеприпасов не являлся предметом широкого обсуждения в изданиях, посвященных военной безопасности страны.

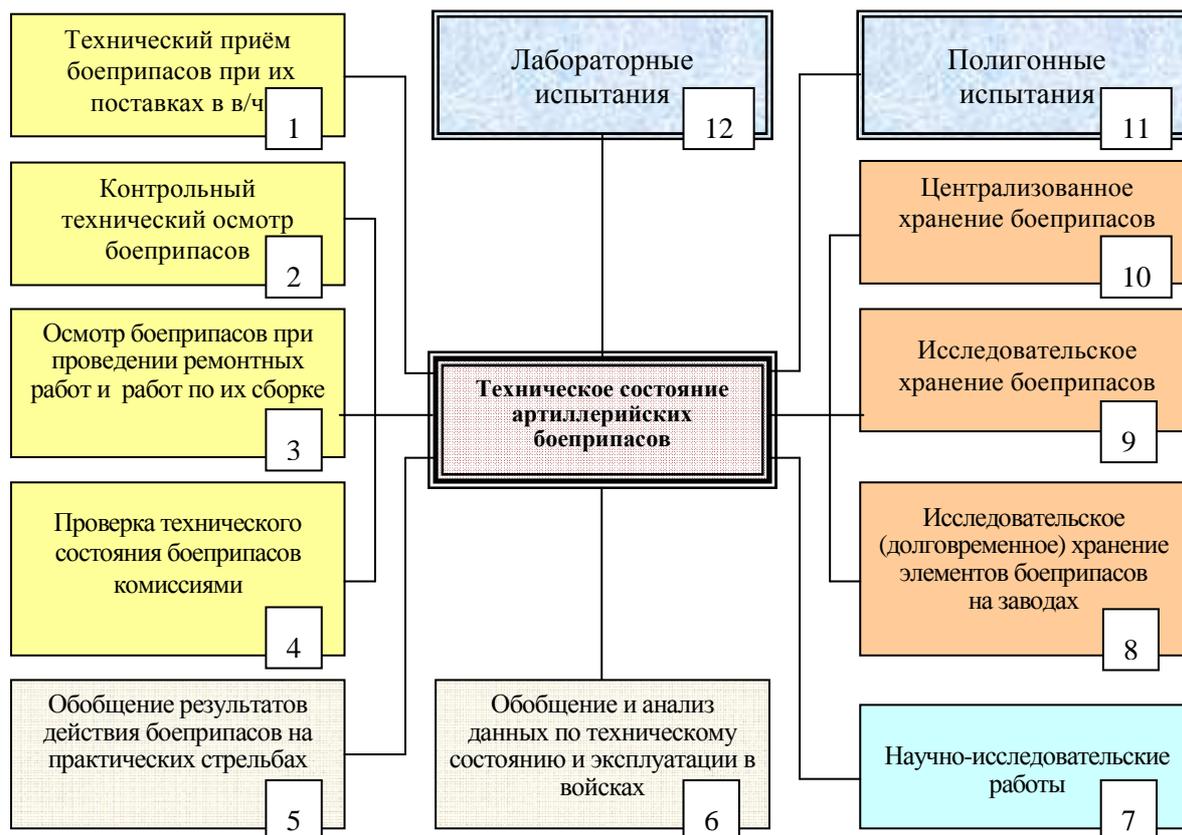


Рисунок 1 – Система контроля технического состояния артбоеприпасов 1937–1994 гг.

В этой обстановке для активной части боезапаса современными доступными средствами периодически должны оцениваться:

- эффективность (действительность) стрельбы;
- безопасность боевого применения артиллерийского вооружения и служебного обращения с артиллерийскими боеприпасами;
- надежность боеприпасов (возможность долговременного хранения).

Сказанное выше необходимо дополнить тем, что система управления запасами боеприпасов должна быть способна анализировать и прогнозировать снижение эффективности их боевого применения за счет геронтологических факторов.

Для пассивной части, которая при значительном увеличении ее объема и невозможности ее уменьшения по причине отложенных сроков утилизации необходима оценка:

- безопасности служебного обращения;
- последствий, связанных с дальнейшим хранением.

Целью работы является исследование рациональных структур построения систем мониторинга артбоеприпасов, функционирующих в интересах обслуживания активной части артбоезапаса, а также определение необходимых инструментальных средств контроля технических характеристик (боевых свойств) боеприпасов.

Обзор доступных литературных источников показал, что несмотря широкомасштабную эксплуатацию вооруженными силами боезапаса, находящегося в послегарантийной стадии, продление сроков его эксплуатации, проблема создания современной системы контроля состояния артвыстрелов и разработки специальных технических средств широко не освещается в отечественной специальной литературе.

Современные формы реализации продления сроков эксплуатации боеприпасов, не предполагают изменения эксплуатационных норм в зависимости от «календарного» срока хранения боеприпасов. При увеличении сроков хранения не изменяется:

- количество отбираемых изделий из контролируемой партии;
- объем контролируемых характеристик;
- периодичность производства контрольных испытаний.

Такое положение в сфере контроля качества средств поражения фактически ставит знак равенства между «старыми» и «новыми» боеприпасами. При назначении объема и глубины контрольных мероприятий нет дифференцирования боеприпасов по типу мест их долговременного хранения. Это, по сути, уравнивает негативное влияние внешней среды, имеющей место на площадке открытого хранения, с влиянием среды внутри хранилища.

Несмотря на военное и техническое сотрудничество со странами НАТО внутри страны не производится освоения и внедрения в практику современных высокоинформативных методик анализа бризантных и метательных веществ, рекомендованных в странах североатлантического альянса, и закреплённых соглашениями по стандартизации (СТАНАГ).

Таким образом, отмеченные выше черты контроля боеприпасов послегарантийных сроков хранения не согласуются с основополагающими принципами науки о старении технических объектов. Отсутствие учета «календарного» срока хранения артиллерийских выстрелов, экстенсивное продление сроков эксплуатации отдельных их типов без качественных изменений структуры и методов установления технического состояния боеприпасов, а также отсутствие четких документов научного, конструкторского и юридического характера по порядку допуска боеприпасов длительных сроков хранения к боевому применению может привести к катастрофическим последствиям не только в местах их хранения, что уже имело место в Украине в период 2003–2008 гг., но также и в боевых частях [2].

В условиях предъявления к системе контроля боеприпасов новых задач, а также в отсутствие собственного производства артиллерийских выстрелов и орудийных стволов, в совокупности с наличием значительного избыточного запаса боеприпасов, калькирование системы 1937–1994 гг. приведет к значительному перерасходу материальных, людских и финансовых ресурсов. К тому же с 1994 г. по настоящее время значительное развитие получили методы и средства неразрушающего контроля, более совершенные методы экспериментальной баллистики и аналитической химии, которые способны повлиять на изменение структуры и принципов построения систем контроля качества артвыстрелов.

Современной тенденцией взаимодействия «эксплуатирующего органа» с «объектом эксплуатации» является переход на ведение мониторинга состояния объекта как более глубокой формы исследования его свойств по сравнению с функцией контроля [3]. Применительно к артиллерийским боеприпасам мониторинг необходимо рассматривать как организационно-техническую систему мероприятий, направленных на выявление совокупности состояний боеприпасов в системах «боеприпас-артиллерийский ствол-боевое применение», «боеприпас-арсенал-долговременное хранение». Результаты мониторинга позволят принимать обоснованные, а, следовательно, объективные решения по дальнейшей эксплуатации боезапаса, приведут к рационализации управления запасами не только артвыстрелов, но и артиллерийских стволов.

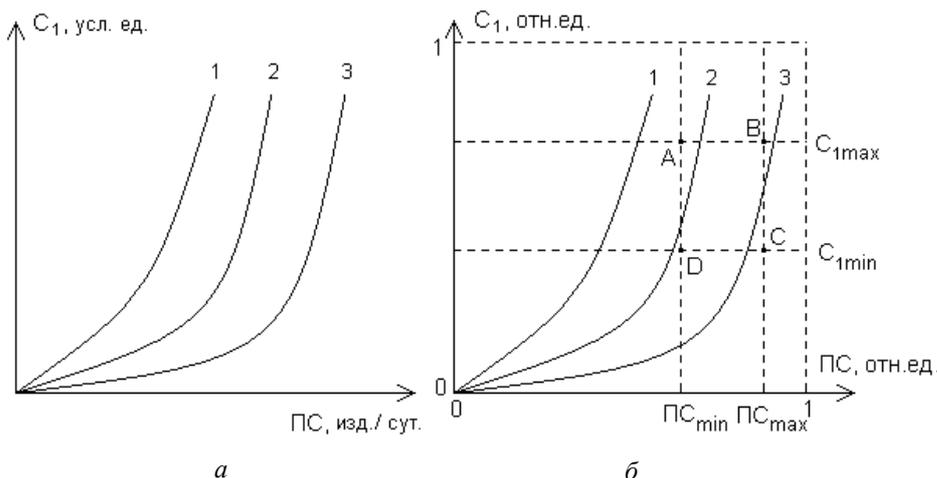


Рисунок 2 – Обоснование показателя рациональности

При обосновании структуры перспективной системы мониторинга боеприпасов представляется рациональным, чтобы она представляла собой компромисс классической организации, состоящей из модуля экспериментального исследования «контроль» и аналитических модулей «анализ» и «прогноз». Важным требованием к системе мониторинга является удельная про-

пускная способность и удельная стоимость диагностических исследований в пересчете на одно изделие.

Рациональность структуры системы мониторинга будем понимать как отношение цены исследования одного образца (C_1), выраженное в условных единицах к ее пропускной способности в режиме «контроль» (изделий за сутки). В этом случае возможные структуры системы могут быть выражены семейством кривых. На рис. 2 а изображены кривые 1–3, характеризующие увеличение стоимости исследования

боеприпасов при увеличении пропускной способности. Переходя от абсолютных единиц стоимости (пропускной способности) к относительным и задавая допустимыми диапазонами стоимости измерений и пропускной способности, найдем область рациональных решений в виде прямоугольника ABCD рис. 2 б (структура 1 не является рациональным решением).

Структура мониторинга артбоеприпасов на основе последовательного проведения лабораторных и полигонных испытаний. Обобщая передовой иностранный опыт в сфере контроля качества боеприпасов, на рис. 3 предложена структура системы мониторинга активной части боезапаса, осуществляемого в интересах его боевого применения.

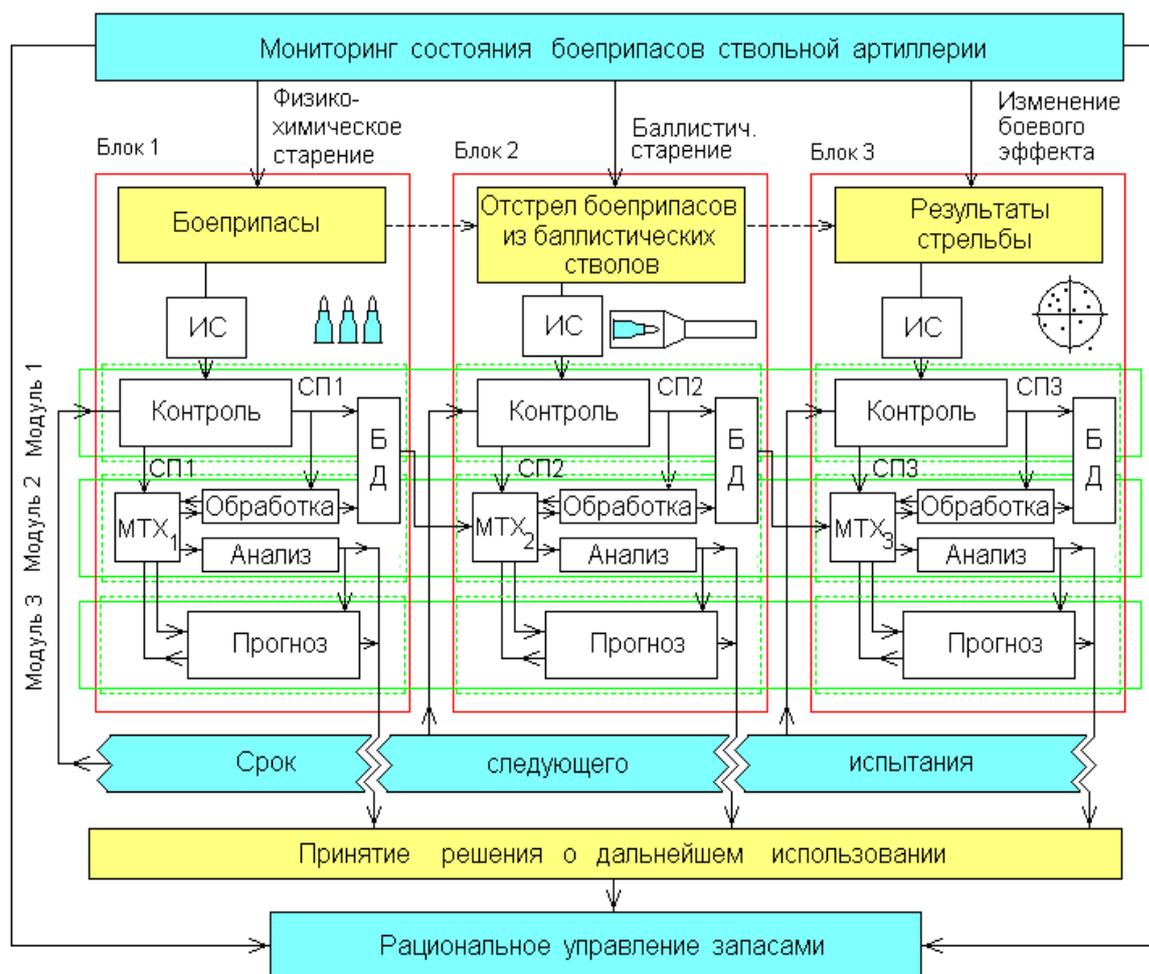


Рисунок 3 – Система мониторинга артбоеприпасов в виде совокупности трех экспериментальных методов контроля

Она состоит из трех блоков, каждый из которых включает в себя 3 модуля, поэтому общее количество операционных модулей равно 9. В состав системы входят:

- блок 1 – блок мониторинга параметров физико-химических характеристик боеприпасов (блок старения артвыстрелов);
- блок 2 – блок мониторинга баллистического старения на основе баллистических испытаний боеприпасов с использованием баллистических стволов;
- блок 3 – блок обобщения результатов стрельб (блок деградации боевого эффекта).

Для унификации процедур каждый из блоков разделен на модули с унифицированными названиями «контроль», «анализ», «прогноз». Ниже сформулируем их цели.

Блок 1. В модуле *контроль* блока «боеприпасы» при проведении инструментальными средствами (ИС) физико-химических испытаний (ФХИ) порохов могут быть определены 6 групп параметров (табл. 1 пп 1.1–1.6).

Таблиця 1 – Группы параметров трех модулей «контроль»

Блок «боеприпасы»	Блок «отстрел боеприпасов»	Блок «результаты стрельбы»
<p>1.1. Геометрические размеры порохового элемента: – толщина горящего свода; – наружный диаметр; – диаметр канала; – длина порохового элемента.</p> <p>1.2. Массовые характеристики порохового заряда: – масса пороховой навески; – масса воспламенителя; – масса размеднителя; – масса флегматизатора.</p> <p>1.3. Массовые характеристики снаряда: – масса артиллерийского снаряда; – масса снаряжения (разрывного заряда); – масса взрывателя; – масса трассера.</p> <p>1.4. Физико-химические характеристики пороховой массы: – процентное содержание азота; – процентное содержание стабилизатора химической стойкости (дифениламина); – процентное содержание флегматизатора (канифоли); – процентное содержание графита; – процентное содержание летучих веществ (общее, удаляемые, неудаляемые); – плотность пороховой массы порохового элемента; – процентное содержание мелочи (крупноты). – пористость пороховой массы; – теплота взрывчатого превращения.</p> <p>1.5. Характеристики параметров заряжания: – плотность заряжания; – гравиметрическая плотность пороха; – величина предельной вместимости в гильзе; – усилие на распатронирование (унитарный патрон).</p> <p>1.6. Параметры физико-химическая стойкости пороха: – лакмусовая проба (первичная, повторная) или иные виды проб на химическую стойкость.</p>	<p>2.1. Начальная скорость: – дульная скорость; – скорость на расстоянии a метров; – изменение скорости на фиксируемом отрезке траектории.</p> <p>2.2. Срединное (вероятное) отклонение начальной скорости.</p> <p>2.3. Температура порохового заряда.</p> <p>2.4. Крешерное (пъезометрическое) значение давления пороховых газов в канале ствола: – максимальное; – минимальное; – среднее.</p> <p>2.5. Баллистическое время выстрела.</p>	<p>3.1. Срединное отклонение точки попадания: – по высоте; – по уходу в бок.</p> <p>3.2. Правильность формы пробойны при пробивании мишени.</p> <p>3.3. Контроль правильности функционирования трассера.</p> <p>3.4. Контроль правильности функционирования самоликвидатора.</p>
6 групп параметров (26 характеристик)	5 групп параметров (9 характеристик)	4 группы параметров (5 характеристик)

К первой группе (п. 1.1) относятся геометрические размеры порохового элемента, которые включают: толщину его горящего свода; наружный диаметр; диаметр канала (каналов при многоканальном перфорировании); длину порохового элемента. Если пороховой заряд является комбинированным и состоит из нескольких типов пороха, фиксируются геометрические размеры каждого из порохов сложной смеси.

Во вторую группу (п. 1.2) входят массовые характеристики порохового заряда, а именно: фактическая масса пороховой навески; масса воспламенителя; масса размеднителя; масса флегматизатора. Массовые характеристики снаряда и его элементов (п. 1.3) составляют третью группу параметров.

Физико-химические характеристики пороховой массы такие как: содержание связанного азота, стабилизатора химической стойкости (дифениламина), флегматизатора (канифоли), графита, летучих веществ (общее, удаляемое, неудаляемое), относится к четвертой группе (п. 1.4).

Далее следует определение плотности пороховой массы порохового элемента и гравиметрической плотности пороха, а также величина предельной вместимости пороха в гильзе, процентное содержание мелочи (крупноты), пористость пороха, теплота взрывчатого превращения, физико-химическая стойкость (лакмусовая проба (первичная, повторная) или иные виды проб), усилие на распатронирование унитарного патрона.

Таким образом, при проведении ФХИ порохов могут быть определены 26 объективных характеристик, значения которых накапливаются и объединяются в базе данных (БД).

Целью модуля *анализ* блока «боеприпасы» является решение четырех задач. Первая из них заключается в обработке данных модуля контроля для приведения характеристик к стандартному виду. При этом выполняются процедуры обработки экспериментальных данных и пересчета полученных результатов в систему СИ. Как и на предыдущем шаге, полученная информация заносится в базу данных. По накопленной информации строится модель трансформации характеристик (МТХ), которая характеризует боеприпас в каждый момент времени эксплуатационного этапа жизненного цикла. Создание МТХ является второй задачей этого модуля.

Опыт показывает, что МТХ представляет собой совокупность n эмпирических функциональных зависимостей изменения контролируемых характеристик от календарного срока эксплуатации (τ) или от времени хранения, при заданных условиях хранения.

При этих условиях МТХ примет вид:

$$\left. \begin{array}{l} \delta_1 = f_1(\tau) \\ \delta_2 = f_2(\tau) \\ \dots \\ \delta_i = f_i(\tau) \\ \dots \\ \delta_n = f_n(\tau) \end{array} \right\},$$

где δ_i – контролируемый параметр (характеристика); τ – календарный срок эксплуатации (хранения) боеприпаса; i – порядковый номер характеристики (параметра) в перечне контролируемых величин, например табл. 1.

Внутри модулей «анализ» блоков «боеприпасы», «отстрел боеприпасов», «результаты стрельбы» разрабатывается свое свойственные им МТХ, поэтому имеют место МТХ₁, МТХ₂, МТХ₃ (физико-химического состояния – МТХ₁, баллистических качеств – МТХ₂ и эффективности стрельбы – МТХ₃). Введение основного аргумента τ в виде календарного срока эксплуатации (хранения) боеприпаса определяется следующим:

- процессы молекулярной диффузии и массопереноса приводят к микроизменениям структуры пороховой массы пороховых элементов, т.е. физико-химическим изменениям пороха;
- физико-химические трансформации влияют на баллистические характеристики единичного выстрела и температурные режимы стрельбы;
- изменение баллистики орудия приводит к изменению рассеивания снарядов.

Дополнительным фактором, усложняющим описание выше перечисленных процессов, является уменьшающаяся живучесть артиллерийского ствола.

В качестве примера частной функции МТХ₁ может быть рассмотрена зависимость теплоты взрывчатого превращения от времени хранения или процентное содержание стабилизатора химической стойкости (дифениламина) как функция «возраста» боеприпаса. С учетом табл. 1 путем сбора и обработки экспериментальных данных могут быть определены 26 эмпирических кривых, которые будут иметь разную степень влияния на конечный результат – боевой эффект, а, следовательно, разную информативность.

МТХ₁ позволяет при наличии исходных данных (блока контроля), т.е. совокупности параметров определять нахождение параметра, а, следовательно, исследуемого боеприпаса на так называемой кривой «эксплуатационного цикла». Далее при получении совокупности параметров блока контроля и с исполь-

зованием MTX_1 осуществляется оценка физико-химического «возраста» боеприпаса, а и его ожидаемые технические характеристики для рассматриваемого временного интервала. Выполнение этих операций составляет третью задачу модуля контроля блока «боеприпасы».

Зависимости для каждого из рассматриваемых частных параметров (характеристик) могут быть простыми если кроме календарного срока хранения (τ) остальные элементы СП не влияют на результат и сложными, если установлено дополнительное влияние другого параметра. Например, в MTX_2 начальная скорость снаряда зависит как от его календарного срока хранения (τ) так и от настрела орудия и от температуры заряда, то есть является сложной.

Простые и сложные зависимости параметров MTX от времени и других аргументов должны проверяться на адекватность и корректироваться, т.к. они могут видоизменяться. Видоизменения зависимостей могут проходить при скачкообразных (стрессовых) изменениях внешней среды. В этой ситуации возникает необходимость коррекции частной функции MTX $\delta_i=f_i(\tau)$ и ее замене на $\delta_i=f_i^*(\tau)$. Контроль адекватности MTX является четвертой задачей модуля анализа. Проверка адекватности MTX осуществляется сравнением физико-химических характеристик, полученных на основе MTX и после операции «обработка».

Далее при экстраполяции временного интервала на заданную временную перспективу прогнозируется изменение физико-химических свойств боеприпаса для модельного времени. Эти действия производятся в модуле 3 «прогноз». С течением времени выданные прогнозные характеристики боеприпаса сравниваются с фактическими данными, полученными в модуле «контроль» (после операции обработка). Такие взаимоотношения модулей «анализ» и «прогноз» используется для дополнительной проверки адекватности MTX .

Обработка данные модулей «анализ» и «прогноз» позволяют обосновать срок следующего испытания боеприпаса.

Блок 2. В модуле контроль блока «отстрел боеприпасов» при проведении инструментальными средствами контроля процесса выстрела могут быть определены 9-ть характеристик, упорядоченных в 5-ть групп параметров. К ним относятся: скорость на дульном срезе, скорость на расстоянии a метров от ствола (например, v_{10}); изменение скорости на фиксированном отрезке траектории; срединное отклонение начальной скорости (r_v); температура порохового заряда перед выстрелом; крешерное давление пороховых газов в канале ствола (максимальное, минимальное, среднее); баллистическое время выстрела.

В модуле «анализ» блока «отстрел боеприпаса» вырабатывается MTX_2 изменение начальной скорости и величины давления пороховых газов как функция «возраста» боеприпаса, при этом влияние износа ствола определяется с использованием аппаратуры и методик лазерного сканирования его поверхности. Скорость снаряда при вылете может определяться радиолокационным, хронометрическим, фотографическим методом, а величину давления в канале ствола контролируют вкладными крешерами или пьезометрическим методом.

Одним из важных показателей выстрела является температурное состояние ствола в процессе стрельбы. Один из способов его определения заключается в контроле изменения температуры ствола в различных его точках в процессе выстрела и периода последействия газов. С использованием MTX_2 оценивается баллистический «возраст» боеприпаса, а и его ожидаемые баллистические характеристики для рассматриваемого состояния.

Как и для блока «боеприпасы» модуль «прогноз» блока «отстрел боеприпасов» предназначен для прогнозирования баллистических характеристик боеприпасов на перспективу.

Блок 3. Стрельба, выполняемая в условиях артиллерийского полигона с использованием подготовленной трассы минимизируют влияние внешних метеорологических факторов и условия такой стрельбы можно приблизить к табличным. В этих условиях усилия третьего блока «результаты стрельбы» направлены на изучение законов рассеяния попаданий в выбранные мишени, то есть на оценку боевой эффективности стрельбы.

В модуле «контроль» блока «результаты стрельбы» определяются четыре параметра. К ним относятся: срединное (вероятные) отклонение точки попадания (по высоте и при уходе в бок); правильность формы пробоины при пробивании мишени; контроль правильности и время функционирования трассера; контроль правильности функционирования самоликвидатора артиллерийского снаряда.

Из всех выше перечисленных параметров наиболее информативными являются значения срединных (вероятных) отклонений точек попадания (по высоте и при уходе в бок), так как они позволяют оценить параметры эллипса рассеивания, то есть эффективность стрельбы.

В модуле «анализ» блока «результаты стрельбы» определяется MTX_3 изменения параметров единичного эллипса рассеивания на заданной дистанции стрельбы от календарного срока хранения артиллерий-

ских боеприпасов. С использованием МТХ₃ определяется снижение эффективности стрельбы при «замораживании» параметра износа канала ствола и отклонений от табличных условий стрельбы.

Модуль «прогноз» производится экстраполяция данных на заданный временной интервал в будущем. Снижение эффективности боевого применения артбоеприпаса ниже порогового значения свидетельствует о непригодности для решения задачи огневого воздействия, следовательно, влечет за собой необходимость проведения ротации (освежения) запасов боеприпасов.

При выработке МТХ₂ блока «отстрел боеприпасов» могут быть использованы базы данных блока «боеприпасы». Аналогично МТХ₃ блока «результаты стрельбы» может использовать базы данных блока «отстрел боеприпасов».

Критически оценивая возможности реализации системы мониторинга в варианте «А» следует отметить, что методики проведения физико-химических и баллистических испытаний, и используемое при этом лабораторное оборудование, необходимость высококвалифицированного персонала определяют их низкую (для массовых исследований) пропускную способность, при этом невозможность определения характеристик боеприпаса без его разрушения ограничивают их возможности. Однако отсутствие отечественного производства лабораторного оборудования, например, скоростных и крешерных баллистических стволов, крешерных приборов, аппаратуры измерения начальных скоростей снарядов, а также отсутствие полигонов, имеющих подготовленные баллистические трассы, ставит под сомнение полномасштабное развертывание системы рис. 3. К тому требованию увеличения количества контролируемых параметров при значительных запасах артиллерийских боеприпасов, имеющих значительный средний «возраст» усиливают требование оперативности и пропускной способности системы, которые не может быть обеспечены современными методиками проверки порохов на химическую стойкость. Длительность проведения испытаний на лакмусовую пробу составляет примерно сутки. В рамках системы рис. 2 остается открытым вопрос об объеме выборки боеприпасов из партии, подвергаемой исследованию. Ее увеличение с одной стороны отвечает критерию глубины и достоверности исследования процесса изменения свойств, а с другой приводит к уменьшению пропускной способности системы мониторинга в пересчете на валовую партию.

В условиях наличия боезапаса со стопроцентным выходом за пределы гарантийных сроков эксплуатации, неопределенностью в сроках его освежения, увеличения количества партий с небольшим объемом боеприпасов, а также количества боеприпасов, один или несколько раз побывавших в войсках требование 100 % дострельбового исследования будет возрастать.

Разрешение противоречия между увеличением количества боеприпасов требующих проведения исследований и недостаточной пропускной способностью современных методик испытаний ставит задачу перехода к средствам неразрушающего контроля в совокупности с аналитическими методами обработки данных.

Перспективная система мониторинга артбоеприпасов на основе методов неразрушающего контроля. Для повышения пропускной способности системы мониторинга и минимизации финансовых затрат на ее содержание более прагматичной является схема, имеющая в своем составе минимум дорогостоящих и трудозатратных экспериментальных процедур, которые осуществляются силами и средствами специализированных лабораторий (полигонов). С точки зрения минимизация объема экспериментальных исследований должна проводиться по пути поиска наиболее чувствительных к старению характеристик артиллерийских выстрелов.

В качестве таковой предлагается использовать плотность пороховой массы порохового элемента. Именно она влияет на закон горения, содержание летучих компонентов, величину максимального давления и координаты пика максимального давления на пиродинамической кривой. Собственно от плотности зависит начальная скорость снаряда – определяющая величина таблиц стрельбы и его внешней баллистики. Основным экспериментальным методом измерения плотности пороха выступит метод рентгеновской компьютерной томографии, позволяющей определять плотность пороха без разрушения исследуемого объекта – боеприпаса. Особенно благоприятные условия проведения эксперимента складываются для танковых боеприпасов раздельно-гильзового заряжания, так как материал их гильз состоит из целлюлозного, пропитанного пироксилином полотна, сгорающего при выстреле. Учет износа канала ствола осуществляется с использованием современных методов лазерного сканирования поверхности ствола, позволяющих определять износ в пределах 5–10 мкм. Это позволяет отслеживать величину геометрических изменений практически после каждого выстрела без ожидания накопления износа за 10–50 выстрелов. Структура системы мониторинга основанная на экспресс методах оценивания и включающая блоки аналитической обработки представлена на рис. 4.

Аналогично системе мониторинга (рис. 3), перспективная система (рис. 4) состоит из трех модулей «контроль», «анализ» и «прогноз».

Модуль контролю (рис. 4) реалізує два експериментальних метода:

- метод рентгеновської комп'ютерної томографічної щільності (M1);
- метод лазерного сканування каналу ствола (M2).

Розподіл методів і моделей між модулями перспективної системи моніторингу (рис. 4) приведено на рис. 5.

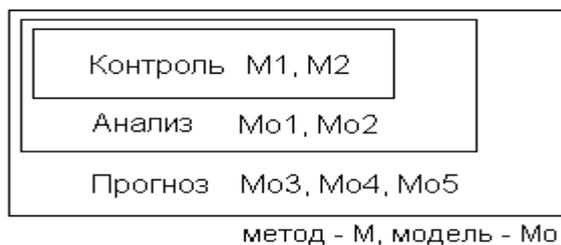


Рисунок 5 – Розподіл методів і моделей між модулями перспективної системи моніторингу

Методи M1, M2 здійснюють високоточні, оперативні дослідження щільності пороха і стану каналу ствола, а апаратура, що реалізує ці методики, відповідає вимогам мобільності. Методика проведення рентгеновської комп'ютерної томографічної щільності (РКТЩ) описана в [4-8]. С її допомогою для порохового металевого заряду оцінюється щільність порохової маси (δ) і далі його маса. Додатковим перевагою РКТЩ є здатність невідшкодувати контроль параметрів форми порохових елементів. Спільне використання РКТЩ з лазерним скануванням каналу ствола дозволяє оцінити величину щільності заряду.

Спільне використання РКТЩ з лазерним скануванням каналу ствола дозволяє оцінити величину щільності заряду.

Основою модуля аналізу є дві аналітичні моделі:

- модель зміни властивостей боєприпасу при зберіганні (Mo1);
- модель рішення основної задачі внутрішньої балістики (Mo2).

Модель Mo1 порівнюється з МТХ₁ системи моніторингу рис. 3.

При спільному виконанні операцій M1 і Mo1 відбувається налаштування параметрів форми порохового елемента (ПФ) і коефіцієнта молекулярної дифузії порохової маси (D). При оцінці параметрів форми визначаються середній зовнішній і внутрішній діаметри порохового елемента, нерівностенність, і середнє значення величини горящого своду.

Для визначення внутрішньобалістичних характеристик використовується модель рішення основної задачі внутрішньої балістики, в якій вихідними параметрами є 14 характеристик. З них 5-ть характеризують артилерійський ствол, 6-ть пороховий заряд і одна – артилерійський снаряд.

З цього числа 8 параметрів (57 %) визначаються з використанням M1, M2 і Mo1, а інші 6 (43 %) утворюються при аналітичних розрахунках. При рішенні основної задачі внутрішньої балістики отримуємо оціночні значення балістичних параметрів системи «боєприпас – артилерійська установка»:

- початкову швидкість;
- максимальне тиск порохових газів в каналі ствола;
- тиск порохових газів на дульному срезі.

Модель Mo2 порівнюється з МТХ₂ системи моніторингу рис. 3.

Використання оціненого значення початкової швидкості, введеного в модель рішення основної задачі зовнішньої балістики (Mo3) дозволяє розрахувати елементи траєкторії боєприпасу (параметри розсіювання артснаряду). Використання моделі виробки коректуючих поправок в кути горизонтального і вертикального підйому ствола (Mo4) показує, чи можливо отримати рішення задачі вогневого впливу з заданою ефективністю за рахунок корекції вихідних і виробки нових кутів горизонтального і вертикального наведення при досягненні виможуваної розрахункової траєкторії польоту.

Модель Mo3 порівнюється з МТХ₃ системи моніторингу рис. 3.

Розраховані в Mo2 значення максимального і «дульного» тисків порохових газів є вхідними елементами моделі впливу старіння пороха металевого заряду на систему «АУ-боєприпас» при бойовому використанні зброї. Негативний вплив старіння пороха металевого заряду на артилерійську установку оцінюється в Mo5. Основними напрямками такої оцінки є три.

Перше, вплив на артилерійський ствол, враховує збільшення максимального тиску порохових газів, тиск на затвор і на наріз нарізної частини ствола. Додатково оцінюється вплив підвищення тиску на знос артилерійського ствола і його коливання при вистрелі.

Вторым направлением отрицательного влияния повышение давления является влияние на боеприпас. Оно проявляется посредством избыточного давления на ведущий поясок, повышением давления на снаряжение (бризантное взрывчатое вещество) и перегрузками элементов взрывателя.

В третьем блоке проводится анализ влияния изменившихся баллистических характеристик выстрела на противооткатное устройство.

Этап прогнозирования в перспективной системе мониторинга (рис. 4) осуществляется при экстраполяции временного интервала (τ) Мо1 на заданную временную перспективу. Такая экстраполяция вызовет изменения во всех последующих моделях от Мо2 до Мо6. Эти изменения необходимо оценить с точки зрения невыхода параметров за граничные значения. В дополнение к этому совокупное действие моделей Мо1–Мо5 позволяет определить тенденции изменения тактических свойств и технических характеристик арткомплекса. Предварительные оценки показывают, что из 13-ти основных свойств арткомплекса при геронтологическом изменении взрывчатых веществ боеприпаса ухудшаются более половины (54 %).

Критически оценивая перспективную систему мониторинга (рис. 4), следует отметить то, что широкие возможности анализа и прогноза поведения боеприпасов при старении взрывчатых веществ, предоставляемые ею, будут зависеть от эмпирических коэффициентов согласования экспериментальных и аналитических данных, необходимых для корректного функционирования моделей решения задач внутренней и внешней баллистики. Это в свою очередь потребует частичного воспроизведения системы рис. 3.

Авторам представляется, что наиболее рациональным сочетанием экспериментальных и аналитических методов в структуре системы мониторинга может быть достигнуто при непосредственной оценке влияния изменения плотности пороха на начальную скорость снаряда и на максимальное давление пороховых газов в канале ствола.

В виду того, что плотность пороха является функцией времени хранения, переход от временных зависимостей «начальная скорость снаряда» – «срок хранения» и «максимальное давление» – «срок хранения» к функциям «начальная скорость снаряда» – «плотность пороха» («максимальное давление» – «плотность пороха») при оценке плотности пороха томографическими методами закладывает основы создания экспресс-метода оценки качества артиллерийских боеприпасов.

Выводы

1. При современном состоянии запасов артиллерийских боеприпасов необходим переход от системы контроля их состояния к системе мониторинга.

2. Структура системы мониторинга боеприпасов должна отвечать рациональному сочетанию экспериментальных и аналитических модулей, что обеспечит ее высокую пропускную способность и минимизацию финансовых затрат на производство одного исследования.

3. В современных условиях система мониторинга боеприпасов должна основываться на экспресс-методах неразрушающего контроля.

Литература

1. Боеприпасы морской артиллерии. Инструкция по контролю технического состояния. – М.: Воениздат. 1975. – 90 с.

2. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Дефекты производства и процессы старения взрывчатых веществ как основные факторы возможного ненормального действия артиллерийских боеприпасов // Интегрированные технологии и энергосбережение. №2, 2011. – с. 80–95.

3. Анипко О.Б., Тараненко С.В., Хайков В.Л. Система мониторинга пороховых зарядов боеприпасов корабельной артиллерии // Збірник наукових праць академії військово-морських сил ім. П.С. Нахімова. №4(4), 2010. – с. 11–18.

4. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Экспресс плотнометрия метательных зарядов корабельных артиллерийских боеприпасов // Интегрированные технологии и энергосбережение. №1, 2011. – с. 46–57.

5. Хайков В.Л. Возможности радиационных методов неразрушающего контроля для повышения эффективности диагностики технического состояния артиллерийских боеприпасов // Збірник наукових праць академії військово-морських сил ім. П.С. Нахімова. №1(5), 2011. – с. 26–36.

6. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Анализ методов оценки состояния пороховых зарядов как элемент системы мониторинга артиллерийских боеприпасов // Интегрированные технологии и энергосбережение. №3, 2012. – с. 60–71.

7. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Экспресс-метод оценки состояния пороховых метательных зарядов для аналитического модуля системы мониторинга боеприпасов // Збірник наукових праць академії військово-морських сил ім. П.С. Нахімова. №2(10), 2012. – с. 6–18.

8. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Метод рентгеновской компьютерной томографической плотнометрии взрывчатых веществ артиллерийских боеприпасов // Интегрированные технологии и энергосбережение. №4, 2012. – с. 68–75.

Bibliography (transliterated)

1. Boepripasyy morskoj artillerii. Instrukcija po kontrolju tehničeskogo sostojanija. – М.: Voeniz-dat. 1975. – 90 p.

2. Anipko O.B., Hajkov V.L. Defekty proizvodstva i processy starenija vzryvchatyh veshhestv kak osnovnye faktory vozmožnogo nenormal'nogo dejstvija artillerijskih boeprapasov Integrirovannye tehnologii i jenergosbereženie. #2, 2011. – p. 80–95.

3. Anipko O.B., Taranenko S.V., Hajkov V.L. Sistema monitoringa porohovyh zarjadov boeprapasov korabel'noj artillerii Zbirnik naukovih prac' akademii vijs'kovo-mors'kih sil im. P.S. Nahimova. #4(4), 2010. – p. 11–18.

4. Anipko O.B., Hajkov V.L. Jekspress plotnometrija metatel'nyh zarjadov korabel'nyh artillerijskih boeprapasov Integrirovannye tehnologii i jenergosbereženie. #1, 2011. – p. 46–57.

5. Hajkov V.L. Vozmožnosti radiacionnyh metodov nerazrushajushhego kontrolja dlja povyšhenija ob'ektivnosti diagnostiki tehničeskogo sostojanija artillerijskih boeprapasov Zbirnik naukovih prac' akademii vijs'kovo-mors'kih sil im. P.S. Nahimova. #1(5), 2011. – p. 26–36.

6. Anipko O.B., Hajkov V.L. Analiz metodov ocenki sostojanija porohovyh zarjadov kak jelement sistemy monitoringa artillerijskih boeprapasov Integrirovannye tehnologii i jenergosbereženie. #3, 2012. – p. 60–71.

7. Anipko O.B., Hajkov V.L. Jekspress-metod ocenki sostojanija porohovyh metatel'nyh zarjadov dlja analityčeskogo modulja sistemy monitoringa boeprapasov Zbirnik naukovih prac' akademii vijs'kovo-mors'kih sil im. P.S. Nahimova. #2(10), 2012. – p. 6–18.

8. Anipko O.B., Hajkov V.L. Metod rentgenovskoj komp'juternoj tomograficheskoj plotnometrii vzryvchatyh veshhestv artillerijskih boeprapasov Integrirovannye tehnologii i jenergosbereženie. #4, 2012. – p. 68–75.

УДК 623.451.4

Аніпко О.Б., Хайков В.Л.

**СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ БОЄПРИПАСІВ
ТА АНАЛІЗ ЇЇ МОЖЛИВИХ СТРУКТУР ПО СТУПЕНЮ РАЦІОНАЛЬНОСТІ**

Для сучасного стану запасів артилерійських пострілів обґрунтована необхідність переходу до системи їх моніторингу. Наведено аналіз структур моніторингу за ступенем їх раціональності.

Anipko O.B., Khaykov V.L.

**ARTILLERY AMMUNITION MONITORING SYSTEM AND ANALYSIS OF ITS POSSIBLE
STRUCTURES ON THE DEGREE OF RATIONALITY**

For current state of artillery ammunition stocks necessity of transition to monitor their condition is proved. The analysis of the monitoring system structures of according to their rationality is performed.