

УДК 623:946

DOI: 10.15587/2312-8372.2018.141247

АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ САМОНАВОДЯЩЕЙСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТОРПЕДЫ СЭТ-65 (СССР) ПОСЛЕГАРАНТИЙНЫХ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Бирюков И. Ю., Бирюков А. И., Щепцов А. В.

Объектом исследования является процесс изменения электротехнических и тактико-технических характеристик серебряно-цинковых торпедных аккумуляторных батарей в процессе их послегарантийного хранения.

Предметом исследования является техническая геронтология электротехнических систем, а именно – серебряно-цинковых аккумуляторных батарей самонаводящейся электрической торпеды СЭТ-65 (СССР).

Имеющиеся на вооружении серебряно-цинковые торпедные аккумуляторные батареи находятся на послегарантийных сроках хранения: от 30 лет и более. Прошедшие в ходе такого периода изменения их параметров, а также геронтологические процессы, протекающие в них, мало изучены. В условиях вынужденной эксплуатации на послегарантийных сроках хранения встает острая необходимость проведения мониторинга их состояния. Исходя из этого, выявление закономерностей изменения электротехнических характеристик серебряно-цинковых торпедных аккумуляторных батарей от их сроков хранения и определение влияния этих изменений на основные тактико-технические характеристики торпеды представляется важной научно-прикладной задачей.

В работе проанализирована модель жизненного цикла серебряно-цинковых батарей. Это позволяет прогнозировать изменения основных электротехнических характеристик от сроков их хранения, а также влияние этих изменений на основные тактико-технические характеристики торпеды. Определены зависимости влияния срока хранения торпеды длительностью более 20 лет на интенсивность уменьшения ее скорости и дальности ее хода. Установлено, что указанные показатели ухудшаются до 20 % и до 17 % соответственно. Проведена коррекция модели жизненного цикла торпедной аккумуляторной батареи. Установлено, что с учетом работы автоматической системы наведения, срок целесообразной эксплуатации торпедной аккумуляторной батареи не должен превышать 16 лет. На основе геронтологических изменений источников питания торпедной аккумуляторной батареи предложена методика внесения поправок при проведении торпедных стрельб. Это позволит компенсировать увеличение рассеяния в боковом направлении и по дальности, а также увеличение угла расчетной точки встречи торпеды с целью. В свою очередь, это позволит выполнять учебные и боевые задачи, используя имеющиеся торпеды послегарантийных сроков хранения.

Ключевые слова: торпеды послегарантийных сроков хранения, серебряно-цинковые аккумуляторные батареи, геронтологические изменения.

1. Введение

После получения Украиной статуса независимого государства её Военно-морские силы (ВМС) унаследовали от СССР большое количество разнообразного вооружения, в том числе и торпедного. Впоследствии, из-за отсутствия производственных мощностей и материально-технической базы, необходимой для производства, ремонт и обслуживание образцов торпедного оружия, номенклатуры торпед были сокращены до трех. В них вошли:

- 533 мм противолодочная самонаводящаяся электрическая торпеда СЭТ-65, 1965 года принятия на вооружение;
- 400 мм универсальная самонаводящаяся электрическая торпеда СЭТ-72, 1972 года принятия на вооружение;
- 533 мм дальнеходная кислородная самонаводящаяся торпеда 53-65К, 1965 года принятия на вооружение.

Срок хранения этих торпед превышает допустимый срок их службы. С целью поддержания их технической готовности в ВМС Украины неоднократно проводились мероприятия по модернизации и продлению сроков эксплуатации этих образцов торпедного оружия. Однако из-за отсутствия необходимого финансирования в полном объеме не удалось выполнить мероприятий по восстановлению, модернизации и своевременному их обновлению [1].

Наиболее негативно это повлияло на источники питания противолодочных торпед, так как сроки их хранения и эксплуатации строго регламентированы рядом руководящих и технических документов [2]. В то же время методы прогнозирования изменения электротехнических характеристик (ЭТХ) в торпедных серебряно-цинковых аккумуляторных батареях (ТАБ) на сроках эксплуатации, превышающих 10 лет, отсутствовали. Модели эксплуатации торпедных ТАБ со сроками хранения, превышающими гарантийный срок, разработано не было. Для этого и было необходимо провести исследования их эксплуатационных характеристик и разработать пути повышения соответственных характеристик до декларируемых в технической документации [2].

Имеющиеся серебряно-цинковые ТАБ находятся на различных стадиях хранения: от 30 и более лет. Прошедшие в ходе такого периода изменение их параметров, а также процессы, протекающие в них, мало изучены. В условиях вынужденной эксплуатации на послегарантийных сроках хранения встаёт острая необходимость проведения мониторинга их состояния, что в свою очередь предполагает проведение:

- прогнозирования изменения основных ЭТХ ТАБ;
- организационно-технических мероприятий, направленных на снижение вероятности проявления ненормального действия;
- своевременной и безопасной их утилизации.

На сегодняшнее время в ВМС Украины у всех ТАБ истек срок эксплуатации, а это делает невозможным выдачу таких торпед на боевые корабли и применение их по назначению [3].

Исходя из этого, выявление закономерностей изменения ЭТХ серебряно-цинковых ТАБ от их сроков хранения и определение влияния этих изменений на основные тактико-технические характеристики (ТТХ) торпеды (скорость и дальность) представляется актуальной научно-прикладной задачей. А в условиях гибридной войны в Украине и аннексии Крымского полуострова – актуальность данной задачи безоговорочная, т. к. напрямую связана с боевой готовностью ряда боевых кораблей ВМС Украины.

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объект исследования – процесс изменения ЭТХ и ТТХ серебряно-цинковых ТАБ в процессе их послегарантийного хранения.

Предмет исследования – техническая геронтология электротехнических систем, а именно – серебряно-цинковых ТАБ СЭТ-65 (рис. 1) [4].



Рис. 1. Торпеда СЭТ-65 (СССР)

Документом [2] срок службы ТАБ определяется десятью годами хранения, в течение которого производятся:

- средний ремонт (через 5 лет);
- контрольные проверки (через каждые 2,5 года).

То есть, в течение установленного срока службы для изделия предусмотрены профилактические мероприятия, направленные на поддержание значений основных энергетических показателей торпеды, близких к номинальным. В то же время, для ТАБ послегарантийных сроков хранения эксплуатационной документацией не оговорен ни перечень соответствующих мероприятий, ни их суть, ни их периодичность.

Следовательно, получается противоречие, которое заключается в том, что с одной стороны, при отсутствии альтернативы, есть острая необходимость в использовании торпедного вооружения послегарантийных сроков хранения. С другой же стороны – имеется существенный пробел в технической

документации, которая регламентировала бы порядок проверки, ремонта, модернизации, подготовки к боевому применению и непосредственно боевого применения таких торпед.

В данное время такое состояние торпедного вооружения, находящегося на послегарантийных сроках эксплуатации, является одной из главных проблем ВМС Украины.

3. Цель и задачи исследования

Цель исследования – определить технически целесообразные сроки хранения серебряно-цинковых ТАБ, подвергшихся воздействиям геронтологических изменений, на основе зависимости падения ЭТХ от времени их хранения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи исследования:

1. Выявить закономерности влияния изменений ЭТХ серебряно-цинковых ТАБ длительных сроков хранения на основные ГТХ торпедного вооружения – на скорость и дальность хода.

2. Спрогнозировать изменения основных энергетических показателей серебряно-цинковых ТАБ от сроков их хранения, а также влияние этих изменений на скорость и дальность хода торпеды.

3. Разработать методический подход коррекции исходных данных стрельбы торпедами СЭТ-65 с учётом геронтологических изменений серебряно-цинковых ТАБ на различных этапах её хранения.

4. Исследование существующих решений проблемы

Проблема ухудшения ГТХ боеприпасов разнообразных видов и калибров по причине природного старения (геронтологических изменений) их элементов вследствие долговременного хранения не нова, а сам процесс является неотвратимым. Условия и сроки хранения, температурный режим, а также непосредственная герметичность боеприпасов так или иначе влияют на процесс их старения, ускоряя или замедляя его. Именно этот процесс и заставляет переводить имеющиеся боеприпасы в разряд таких, которые имеют длительный или послегарантийный срок хранения.

За последние 15 лет только в Украине был проведён ряд научных экспериментальных работ по изучению влияния этого процесса, как на техническое состояние образца вооружения, так и на ГТХ таких видов боеприпасов, как:

- автоматных [5, 6];
- пистолетных [7, 8];
- артиллерийских [9];
- танковых боеприпасов [10];
- боеприпасов морской номенклатуры [11].

И если в перечисленных выше работах основополагающей причиной проведения экспериментальных исследований стало истощение пороховых зарядов вследствие долгосрочного их хранения, то в работах по торпедному

вооружению такой причиной стало изменение ЭТХ ТАБ. А ТАБ, как известно, является кардинально другим элементом, нежели пороховой заряд.

Следовательно, все подходы и закономерности, описанные в приведённых выше работах, недопустимо применять в процессе изучения торпедного вооружения.

Что же касается последнего, то в экспериментальных работах [1, 12, 13] как раз и были исследованы ТАБ на предмет изменения их ЭТХ вследствие природного старения соответствующих элементов питания. Но в этих работах описаны лишь отдельные разрозненные исследования, в то время как комплексный детальный анализ полученных результатов не проводился.

Также нельзя оставить без внимания и другие мировые научные труды.

В работе [14] представлен алгоритм определения оптимальной конфигурации торпеды, которая удовлетворяла бы требованиям и критериям её эффективности. В то же время исследования оптимальной конфигурации элементов её ТАБ как гарантийных, так и послегарантийных сроков хранения, не проводились.

Авторами работы [15] была разработана концептуальная высокоточная модель конечных элементов суперкавитирующей торпеды. Однако при разработке этой модели была допущена определённая погрешность в связи с пренебрежением влияния геронтологических изменений элементов торпеды в процессе их старения на основные ТТХ и ЭТХ такой торпеды.

Автор работы [16] обобщил и проанализировал проблему старения как боеприпасов в целом, так и торпед в частности, но при этом никаких моделей или прогнозов по их целесообразному использованию предложено не было.

Остальное подавляющее большинство научных работ, таких как [17, 18], описывает лишь современные тенденции развития торпедного вооружения в мире или представляет сжатый анализ их основных ТТХ. Влияние же на ТТХ торпед процессов старения их элементов в таких работах вообще не рассматривается.

Таким образом, результаты анализа показывают, что в относительно небольшом количестве научных работ по данной тематике экспериментальных исследований ТАБ торпед СЭТ-65 послегарантийных сроков эксплуатации не проводились.

5. Методы исследований

Теоретические исследования [19] показали, что в процессе длительного хранения с ТАБ происходят изменения, негативно влияющие на такие их ЭТХ, как ёмкость, напряжение, внутреннее сопротивление. Полученные зависимости изменения времени разряда ТАБ от изменения её ёмкости обуславливали влияние сроков хранения торпеды на дальность её хода. Зависимость же изменения мощности электродвигателя от напряжения в свою очередь обуславливала влияние таких сроков на изменение скорости торпеды.

Изменение дальности хода торпеды от срока хранения ТАБ $\Delta L(\tau)$ представляет собой отношение дальности хода торпеды на гарантийных сроках хранения ТАБ L к табличным значениям дальности хода такой торпеды L_T . Эта разность определена в работе [1] и представлена в виде выражения:

$$L/L_T = L_T - 0,007 \tau, \quad (1)$$

где L – значения дальности хода торпеды на гарантийных сроках хранения ТАБ;

L_T – табличные значения дальности хода торпеды;

τ – срок хранения ТАБ.

Изменение скорости хода торпеды от срока хранения ТАБ $\Delta V(\tau)$ представляет собой отношение скорости хода торпеды на гарантийных сроках хранения ТАБ V к табличным значениям скорости хода такой торпеды V_T . Эта разность также определена в работе [1] и представлена в виде выражения:

$$V/V_T = V_T - 0,009 \tau, \quad (2)$$

где V – значения скорости хода торпеды на гарантийных сроках хранения ТАБ;

V_T – табличные значения скорости хода торпеды;

τ – срок хранения ТАБ.

На основе полученных данных [1], разработана модель жизненного цикла ТАБ (рис. 2), которая описана полиномом шестой степени:

$$C = (-9,9888 e^{-6})\tau^6 + 6,057 e^{-4}\tau^5 + (-1,258 e^{-2})\tau^4 + 9,7436 e^{-2}\tau^3 + (-0,25375)\tau^2 + (-0,22637)\tau + 239,98, \quad (3)$$

где C – ёмкость ТАБ;

τ – срок хранения ТАБ.

Эта модель даёт возможность прогнозирования изменений основных ЭТХ ТАБ от сроков их хранения, а также прогнозировать влияние этих изменений на скорость и дальность хода торпеды. Такая модель позволила определять величины поправок для исходных параметров торпедной стрельбы.

Данная модель включает в себя три этапа:

– первый – ёмкость ТАБ, остается практически неизменной, процессы старения, происходящие внутри ТАБ, незначительны и скорость их протекания мала. Они не оказывают существенного влияния на ЭТХ ТАБ;

– второй – ёмкость ТАБ резко снижается. Допустимое минимальное значение ёмкости может быть определено на основе минимально допустимой скорости и дальности хода торпеды;

– третий этап – значения ёмкости не смогут обеспечить необходимую скорость и дальность хода торпеды, а, следовательно, использование ТАБ не целесообразно [19].

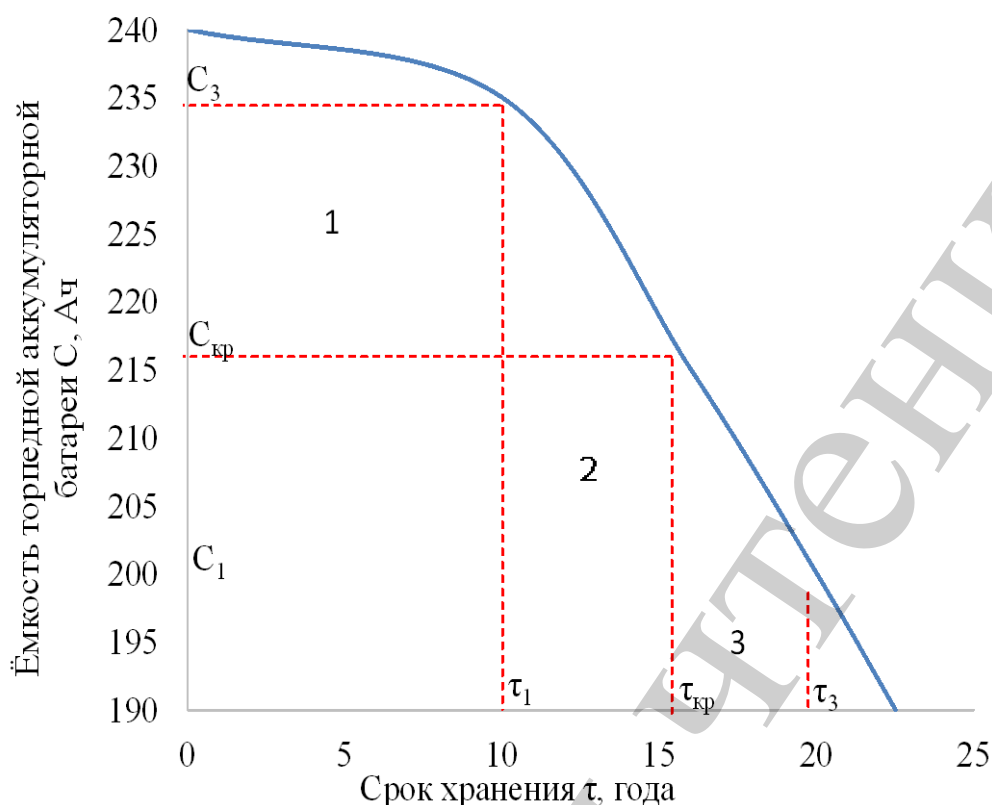


Рис. 2. Модель жизненного цикла торпедной аккумуляторной батареи

Для подтверждения полученных теоретических результатов, на предприятии ОАО НПФ «Луганский аккумулятор – 1» (Украина) была разработана программа испытаний батарей СЦА-240 (изд. А-187М) [20]. Обобщая предложенный порядок испытаний ТАБ, программу их проведения можно представить схематично (рис. 3).

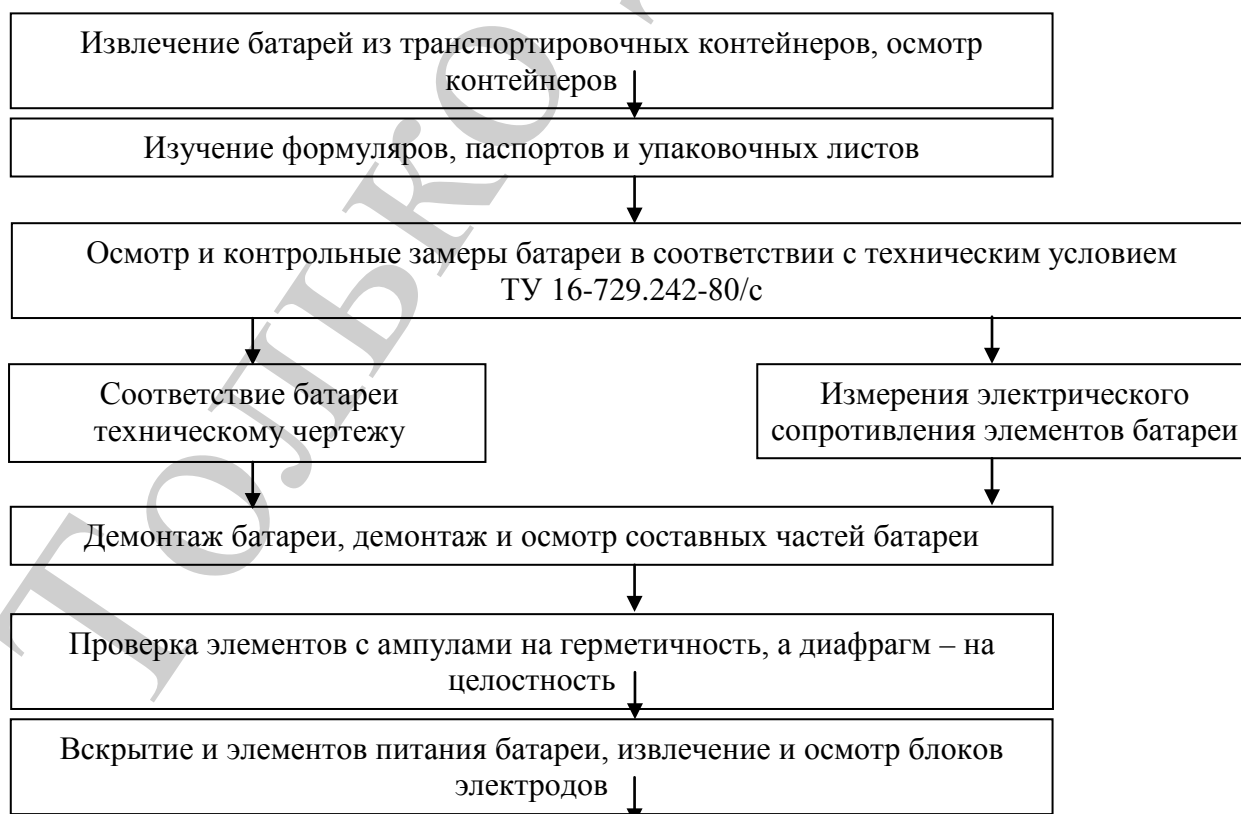




Рис. 3. Схема программы испытаний батарей СЦА-240 (изд. А-187М)

Представленная программа испытаний ТАБ является пока единственным документом, который не только регламентирует порядок проверки ТАБ, но даёт возможность продления их эксплуатации за счёт их доработки и модернизации.

6. Результаты исследований

На основании выражений (1), (2) построены соответствующие графики зависимостей дальности хода торпеды (рис. 4) и её скорости хода (рис. 5) от времени хранения ТАБ.

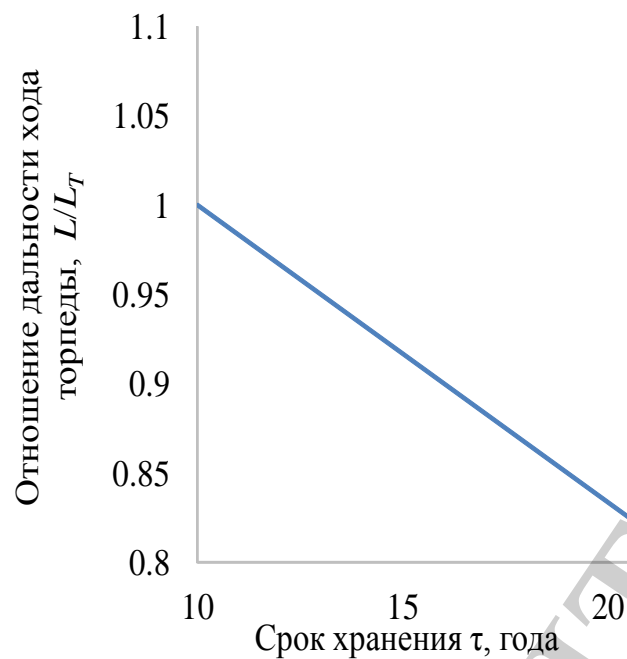


Рис. 4. Изменение дальности хода торпеды от времени хранения торпедных аккумуляторных батарей

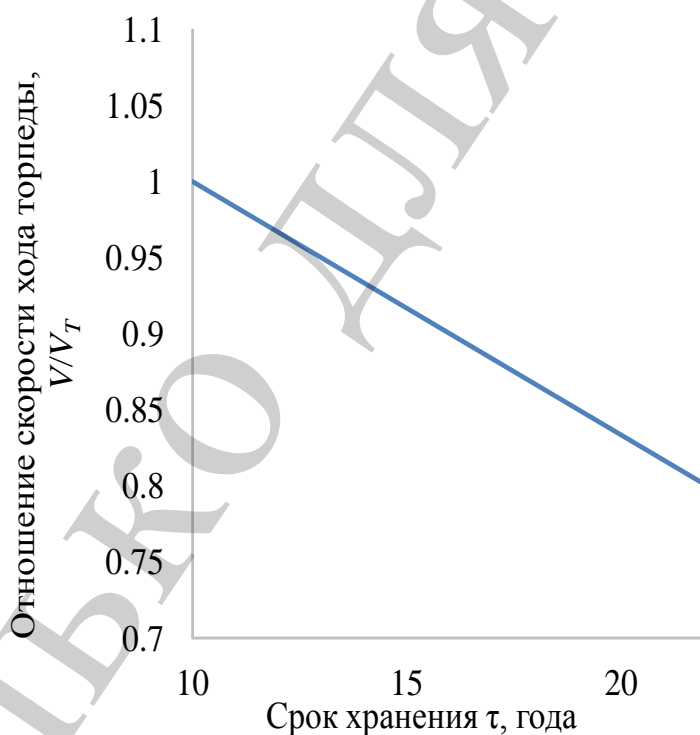


Рис. 5. Изменение скорости хода торпеды от времени хранения торпедных аккумуляторных батарей

На основании этого были получены следующие данные для торпед с 22 летним сроком хранения ТАБ:

1. Ёмкость такой ТАБ снижена на 20 %, что приводит к снижению времени её разряда до 10,8 мин, что не соответствует данным ТТХ (13 мин).
2. Дальность хода торпеды с такой ТАБ снизится на 17 %, что соответствует 2,5 км.

3. Напряжение ТАБ уменьшено на 18 %, что соответствует 40 В [20].

4. При таких значениях напряжения, показатели мощности электродвигателя торпеды принимают неудовлетворительные значения, равные $1,8 \cdot 10^5$ Вт, при которых электродвигатель не сможет обеспечить нужную скорость хода торпеды.

5. Скорость такой торпеды снизится на 20 %, что соответствует 4 м/с (8 уз).

Ограничения, связанные с условиями работы бортовой аппаратуры самонаведения, для нормальной работы которой допускается падение напряжения не более чем на 10 %, привели к вынужденной коррекции модели жизненного цикла ТАБ. Эта величина ещё в большей степени ограничивает срок целесообразной эксплуатации ТАБ: с учётом указанной корректировки такой срок, не должен превышать 16 лет.

Одним из основных результатов экспериментального исследования батарей СЦА-240 (изд. А-187М) стали данные испытаний положительных и отрицательных электродов, представленные в табл. 1, 2 соответственно.

Таблица 1

Результаты испытаний положительных электродов

№ элемента	Положительные электроды				Требования по технической документации
	№ п/п	Вес, г	Время разряда, мин	Внешний вид	
81086 (негерметичный)	1	23,41	49'	Серого цвета	Время разряда положительных электродов должно быть не менее 45'
	2	23,41	47' 35''		
	3	23,26	48' 30''		
	4	23,97	49' 30''	Серого цвета с бурыми пятнами	
	5	23,70	48' 50''		
	6	23,56	48'		
	7	23,69	48' 50''	Серого цвета	
	8	23,15	46' 30''		
	9	23,56	47' 10''		
Среднее значение		23,52	48' 15''	–	
80647 (герметичный)	1	23,96	48'	Серого цвета	
	2	23,64	46' 45''		
	3	23,75	49' 35''		
	4	23,50	47' 45''	Серого цвета с бурыми пятнами	
	5	23,17	46'		
	6	23,32	46'		
	7	23,40	46' 40''	Серого цвета	
	8	23,20	45' 45''		
	9	23,44	46' 15''		
Среднее значение		23,49	47'	–	

Таблица 2

Результаты испытаний отрицательных электродов

№ элемента	Отрицательные электроды				Содержание ртути, %
	№ п/п	вес, г	время разряда, мин	среднее разрядное напряжение, В	
81086 (негерметичный)	1	16,6	19' 24''	1,37	0,87
	2	16,7			
	3	16,5	21' 40''	1,40	0,66
	4	16,6			
	5	16,6	22' 42''	1,40	0,74
	6	16,7			
Среднее значение		16,6	21' 41''	1,39	0,76
80647 (герметичный)	1	16,7	22' 20''	1,40	0,62
	2	16,6			
	3	16,8	23' 12''	1,40	0,62
	4	16,6			
	5	16,8	20' 05''	1,36	0,68
	6	16,8			
Среднее значение		16,7	21' 54''	1,39	0,64
Требования по технической документации			не менее 17'	не менее 1,35	1–2,5

Так в отрицательных электродах было установлено пониженное на 0,5 % содержание ртути, которая вводится в активную массу для обеспечения стабильности цинкового электрода в процессе хранения, что не соответствует технической документации (1 %) [20].

Также было зафиксировано снижение своих ЭТХ до гранично-допустимых значений в положительных и отрицательных электродах, как следствие их длительного хранения. Так, время контрольного разряда положительных электродов элементов ТАБ составило от 48 до 44 мин, (при норме в 45 мин), а отрицательных – от 19 до 16 мин, (при норме в 17 мин).

Указанные выше факты приводят к изменению эллипса корабельного рассеивания торпеды при стрельбе (рис. 6):

- по дальности;
- в боковом направлении.

Для компенсации этого воздействия необходимо вносить соответствующие поправки:

- внести изменения в расчёты предельной дистанции торпедного залпа и условий «дохождения» торпеды до цели (догона цели).
- внести изменения в расчёты угла встречи торпеды в расчетной точке встречи торпеды с целью (угла упреждения).

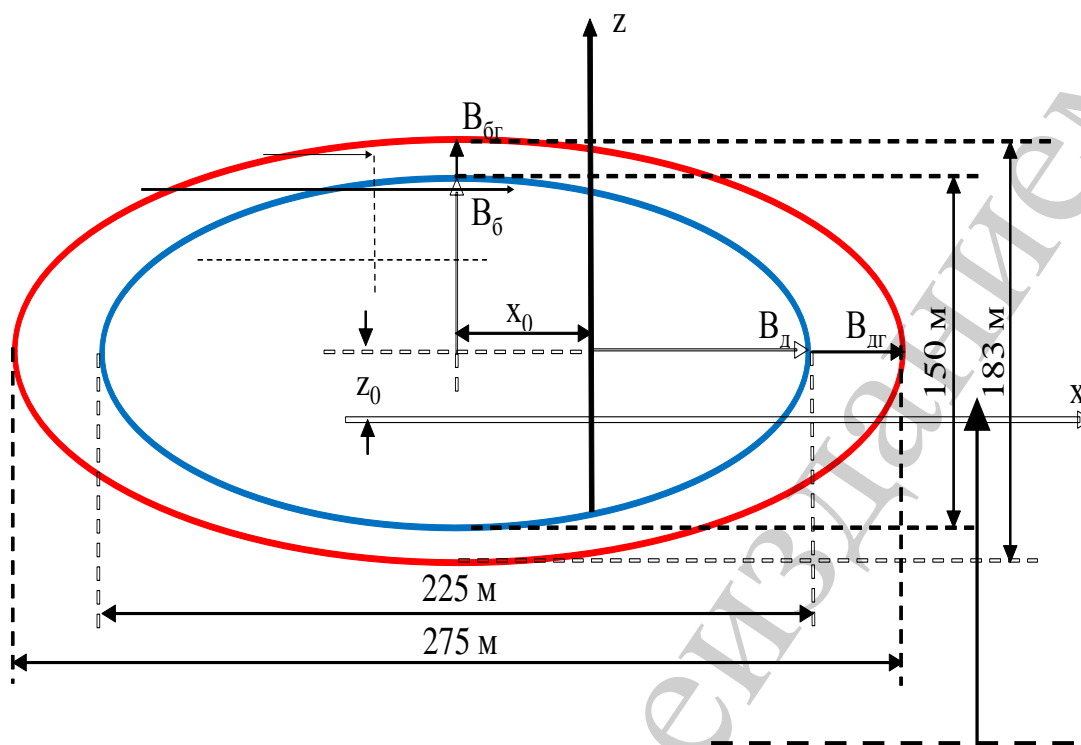


Рис. 6. Эллипс полигонного рассеивания торпед с учетом геронтологических изменений в их аккумуляторных батареях

На основе разработанной методики [1] проведена коррекция исходных данных торпедной стрельбы с учетом геронтологических изменений ТАБ. Так для 50 % торпед корабельное рассеивание в боковом направлении B_B и корабельное рассеивание по дальности B_D будет превышать свои значения на 23 и 50 м соответственно. Для оставшихся 50 % торпед по нормальному закону распределения случайной величины эти значения будут в 6 раз больше и составят 138 и 300 м, соответственно. Это составляет 1/2 длины радиуса реагирования активного канала автоматической системы наведения торпеды СЭТ-65 и перекрывает радиусы реагирования пассивного канала аппаратуры самонаведения торпеды при скоростях цели от 9 до 18 узлов.

Также установлено, что при одинаковом курсовом угле цели $q_{ц}$, угле встречи с целью θ и угле упреждения φ , значение общего пройденного пути торпеды уменьшилось на 15 % (2174 м). Основной причиной этого как раз и есть геронтологические изменения ТАБ. Значение ж предельной дистанции торпедного залпа $D_{зп}$ уменьшилось на 1500 м, что составляет 15 % от ее номинального значения.

При определении угла расчетной точки встречи торпеды с целью φ получили, что данный угол, с учетом геронтологических изменений ТАБ $\varphi_г$, при одних и тех же условиях стрельбы, будет отличаться от истинного φ_u , и будет равен 9° (при $\varphi_u=6,9^\circ$).

Дополнительно было установлено факт того, что диафрагмы ТАБ послегарантийного срока хранения имели самый низкий процент открытия – 15–20 %, по сравнению с 75–100 % диафрагм гарантийных сроков хранения. Визуально эта разница представлена на рис. 6.

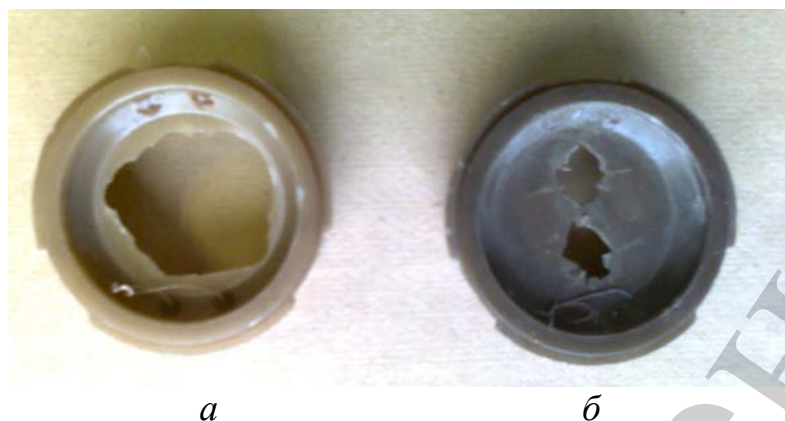


Рис. 6. Сравнительное фото результатов подрыва мембраны диафрагмы: *а* – гарантийного срока хранения; *б* – послегарантийного срока хранения

Данное явление приведет к несвоевременной подаче электролита из ампулы в элементы, несвоевременному и неполному смачиванию поверхности электродов, а также к задержке полной реакции активных масс. В свою очередь это воспрепятствует своевременной подаче напряжения силовой батареи на электродвигатель. В конечном результате скорость торпеды и угла поворота рулей будет недостаточно для своевременного выхода на заданную траекторию [13].

7. SWOT-анализ результатов исследований

Strengths. Результаты теоретического исследования относительно того, что вследствие геронтологических изменений в ТАБ длительных сроков хранения их основные ЭТХ падают, были подтверждены результатами экспериментального исследования.

Модель жизненного цикла ТАБ торпеды позволяет прогнозировать:

- изменения основных ЭТХ ТАБ от сроков их хранения;
- влияние этих изменений на основные ТТХ торпеды – скорость и дальность хода.

В свою очередь это позволяет вводить поправки в исходные параметры торпедной стрельбы с учетом геронтологических изменений элементов ТАБ.

Предложенная модель откорректирована с учетом ограничения, связанного с условиями работы бортовой аппаратуры самонаведения.

Предложенная методика внесения поправок при проведении торпедных стрельб даёт возможность выполнять учебные и боевые задачи, используя имеющиеся торпеды послегарантийных сроков хранения.

Weaknesses. Дальнейшие экспериментальные исследования, доработки и модернизации ТАБ усложняются тем, что предприятие, их проводившее, находится на временно оккупированной территории (г. Луганск, Украина).

Ограниченное количество как самих торпед СЭТ-65, так и кораблей ВМС Украины, оборудованных соответственными торпедными аппаратами, не даёт в полной мере опробовать на практике полученные в ходе экспериментального исследования результаты.

Opportunities. Программа испытаний ТАБ СЭТ-65 имеет универсальный характер и может быть использована для исследования аналогичных ТАБ других видов торпед как украинского, так и импортного производства.

Разработка таблиц поправок для стрельбы торпедами СЭТ-65 длительных сроков хранения в зависимости от продолжительности этих сроков.

Исследования влияния геронтологических изменений на интенсивность потери своих физико-химических свойств полиамидной смолы, из которой изготовлены диафрагмы, и элементов электрозапалов НХ-10Х1,5 ТАБ.

Threats. Выполнение программы испытаний ТАБ возможно лишь в лабораторных условиях при участии персонала соответствующей квалификации, что делает невозможным её проведение силами и средствами экипажа боевого корабля или военной части ВМС Украины.

Отсутствие информации о влиянии на интенсивность геронтологических изменений ТАБ условий хранения торпед, перепадов температуры и влажности окружающей среды может привести к дополнительным погрешностям предложенной модели жизненного цикла ТАБ, а, следовательно, и к поправкам стрельбы.

8. Выводы

1. Выявлены закономерности влияния изменений ЭТХ серебряно-цинковых ТАБ длительных сроков хранения на основные ТТХ торпеды СЭТ-65. Установлено, что под их действием при сроке хранения ТАБ в 22 года происходит снижение ёмкости ТАБ на 20 %, а время её разряда падает до 10,8 мин, что не соответствует номинальным ТТХ (13 мин). Это приводит к снижению дальности хода торпеды на 17 %, что соответствует 2,5 км. Также снижается и напряжение ТАБ на 18 %, что соответствует 40 В. При таком значении напряжения ТАБ скорость торпеды снизится на 20 %, что соответствует 4 м/с (8 уз).

2. Разработана модель жизненного цикла серебряно-цинковых ТАБ, которая позволяет прогнозировать изменения основных ЭТХ ТАБ от сроков их хранения, а также прогнозировать влияния этих изменений на скорость и дальность хода торпеды. Это в свою очередь позволяет вводить поправки в исходные данные торпедной стрельбы при их боевом применении с учётом геронтологических изменений элементов ТАБ. Произведена коррекция разработанной модели жизненного цикла ТАБ с учётом ограничения, связанного с условиями работы бортовой автоматической системы наведения, для нормальной работы которой допускается падение напряжения не более, чем на 10 %. С учётом этого ограничения установлено, что срок целесообразной эксплуатации серебряно-цинковых ТАБ не должен превышать 16 лет.

3. На основе сравнительного анализа точности методов решения основной задачи встречи торпеды определено влияние геронтологических изменений источников питания ТАБ на увеличение угла расчётной точки встречи торпеды с целью. Значение этого угла увеличивается до 9,0° (на 23 %) по сравнению с его номинальным значением в 6,9°.

Литература

1. Anipko O. B., Shheptsov O. V. Gerontologicheskie izmeneniya serebryano-tsinkovykh akkumulyatornykh batarey torpedy SET-65 v protsesse dlitel'nogo khraneniya // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. 2014. Issue 4. P. 58–64.
2. Rukovodstvo po khranenyu i remontu protivolodochnogo, torpednogo, minnogo, protivominnogo i protivopodvodno-diversionnogo oruzhiya i vooruzheniya. Moscow: Voennoe izdatel'stvo MO SSSR, 1986. 279 p.
3. Analiz ta pidsumky ekspluatatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky Zbroinykh syl Ukrainy u 2011 rotsi // Ozbroiennia Zbroinykh syl Ukrainy. Kyiv, 2012. 67 p.
4. Rogozhnikov K., Kuz'mitskiy M. Vypuskniki fakul'teta morskogo priborostroeniya – sozdateli torped // Za kadry verfyam. 2002. Issue 9. P. 4.
5. Problema zhivuchesti stvolov strelkovogo oruzhiya pri primenenii boepripasov poslegarantiynykh srokov khraneniya / Anipko O. B. et. al. // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. 2010. Issue 3. P. 80–83.
6. Anipko O. B., Mulenko A. O., Demchenko A. A. Eksperimental'noe issledovanie iznosa stvola 5,45 mm avtomata Kalashnikova AK-74 pri strel'be boepripasami dlitel'nykh srokov khraneniya // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. 2013. Issue 2. P. 121–126.
7. Johnston A. Understanding and Predicting Gun Barrel Erosion. Edinburgh: Department of Defence Australian Government, 2005. 52 p.
8. Biryukov A., Gurnovich A., Biryukov I. Experimental research of wear intensivity of 9mm pistol barrel with the use of long-term storage ammunition // Technology Audit and Production Reserves. 2017. Vol. 2, Issue 2 (34). P. 48–54. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.100467>
9. Anipko O. B., Demchenko A. A. Eksperimental'noe issledovanie ballisticheskikh kharakteristik 120 mm minometa pri primenenii metatel'nykh zaryadov dlitel'nykh srokov khraneniya // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. 2014. Issue 2. P. 61–70.
10. Anipko O. B., Borisyuk M. D., Busyak Yu. M. Eksperimental'noe issledovanie zhivuchesti stvola gladkostvol'noy pushki // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. 2011. Issue 1. P. 28–31.
11. Anipko O. B., Verteletskiy V. F. Izmenenie fiziko-khimicheskikh svoystv porokhovogo zaryada i nachal'noy skorosti artilleriyskikh boepripasov morskoy nomenklatury kalibrov 25/80 i 30/54 // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. 2013. Issue 2. P. 74–80.
12. Anipko O. B., Redin N. N., Shheptsov O. V. Eksperimental'noe issledovanie akkumulyatornykh batarey elektricheskikh torped, nakhodyashhikhsya na poslegarantiynykh etapakh ekspluatatsii // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. 2013. Issue 2. P. 3–8.
13. Anipko O. B., Shheptsov O. V. Izmenenie osnovnykh energeticheskikh pokazateley akkumulyatornykh batarey torped na poslegarantiynykh etapakh ekspluatatsii i ikh vliyanie na osnovnye takticheskie kharakteristiki torpednogo

oruzhiya // Zbirnyk naukovykh prats AVMS imeni P. S. Nakhimova. 2013. Issue 3 (15). P. 9–15.

14. Alyanak E., Grandhi R., Penmetsa R. Optimum design of a supercavitating torpedo considering overall size, shape, and structural configuration // International Journal of Solids and Structures. 2006. Vol. 43, Issue 3-6. P. 42–657. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2005.05.040>

15. Structural response and optimization of a supercavitating torpedo / Alyanak E. et. al. // Finite Elements in Analysis and Design. 2005. Vol. 41, Issue 6. P. 563–582. doi: <http://doi.org/10.1016/j.finel.2004.10.005>

16. Polyakov L. Aging stocks of ammunition and SALW in Ukraine: risks and challenges. Bonn International Center for Conversion, 2005. 66 p.

17. Praveen D. Analysis the world's deadliest torpedoes. Naval technology. 2014. URL: <https://www.naval-technology.com/features/featurethe-worlds-deadliest-torpedoes-4286162/> (Last accessed: 10.08.2018)

18. Torpedoes and the Next Generation of Undersea Weapons. Undersea warfare magazine. 2002. URL: https://www.public.navy.mil/subfor/underseawarfaremagazine/Issues/Archives/issue_14/torpedoes.html (Last accessed: 10.08.2018)

19. Anipko O. B., Khaykov V. L., Shheptsov O. V. Prognozirovanie izmeneniya energeticheskikh pokazateley akkumulyatornykh batarey elektricheskikh torped v zavisimosti ot srokov ikh khraneniya // Zbirnik naukovykh prats' AVMS imeni P. S. Nakhimova. 2013. Issue 2 (14). P. 14–19.

20. Otchet issledovaniya batarey A-187M, posle dlitel'nogo khraneniya i opredelenie vozmozhnosti ikh ispol'zovaniya. OAO NPF «Luganskiy akkumulyator-1», 2001. 7 p.