

УДК 623.4.017

Б.М. Ланецький, І.В. Коваль, В.В. Лук'янчук, В.П. Попов

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ЗАГАЛЬНІ НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ З ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ З ПРОДОВЖЕННЯ ПРИЗНАЧЕНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ. НОМЕНКЛАТУРА ПРИЗНАЧЕНИХ ПОКАЗНИКІВ, СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ НАДІЙНОСТІ

У статті розглядаються науково-методичні положення з організації та проведення робіт з продовження призначених показників зенітних керованих ракет. Розроблені положення використовуються для формування технічного завдання на проведення цих робіт та обґрунтування потрібних видів робіт для програми робіт з продовження призначених показників.

**Ключові слова:** роботи з продовження призначених показників, рівні розукрупнення зенітних керованих ракет, номенклатура призначених показників, структурно-функціональні схеми надійності.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На теперішній час науково-методичне обґрунтування робіт з продовження призначених показників зенітних керованих ракет (далі – робіт з продовження) не опрацьоване в повному обсязі. Так, відсутні технічні умови на складові частини зенітних керованих ракет (ЗКР), методики випробувань на надійність, безпеку та інші методичні документи. На теперішній час також відсутні нормативно-правові документи, які визначають особливості порядку проведення цих робіт в умовах України.

При формуванні технічного завдання на проведення робіт з продовження необхідно обґрунтовувати нові величини призначених показників. При розробці програми робіт з продовження необхідно попередньо обґрунтовувати потрібні обсяги досліджень технічного стану, надійності та безпеки ЗКР в цілому, її складових частин, комплектувальних виробів, матеріалів та речовин. Для вирішення цих завдань потрібен відповідний науково-методичний апарат.

**Мета статті.** Розробка науково-методичних положень щодо організації та проведення робіт з продовження призначених показників ЗКР.

### Основна частина

Нижче розглядаються питання стосовно номенклатури призначених показників, відповідних показників надійності, а також порядок розробки структурних функціональних схем надійності (СФСН) ЗКР в цілому та її складових частин. Питання, пов'язані з встановленням нових значень призначених показників при формуванні технічного завдання на проведення робіт з продовження, а також рекомендації з

обґрунтування обсягів випробувань і порядку їх проведення будуть розглянуті в інших статтях.

Роботи з продовження проводять з урахуванням наступних рівнів розукрупнення ЗКР:

- ЗКР в цілому;
- складові частини;
- комплектувальні вироби;
- матеріали і речовини.

У кожному конкретному випадку склад рівнів розукрупнення виробів, на яких планують і проводять необхідні дослідження, визначають на етапі розробки програми робіт з продовження з урахуванням:

- послідовності прийняття помилкового рішення на продовження призначених показників виробів даного конструктивного рівня розукрупнення, при якому ними можуть бути досягнуті граничні стани у складі ЗКР при її застосуванні за призначенням, зберіганні та транспортуванні;

- фактичного технічного стану виробів даного конструктивного рівня розукрупнення, який оцінюється за сукупністю всієї наявної апріорної інформації на період планування робіт;

- залишкових значень призначених показників виробів даного конструктивного рівня розукрупнення, які входять до складу ЗКР;

- можливих обмежень технічного, економічного або організаційного характеру, які заважають або істотно утруднюють проведення необхідних досліджень для виробів даного конструктивного рівня розукрупнення.

Вибір видів робіт для включення у програму робіт з продовження визначається:

- фактичним та потрібним наробітком, терміном служби, терміном зберігання, дальністю або тривалістю транспортування виробів;

– змістом та обсягом апріорної інформації про динаміку технічного стану та надійність виробів, їх аналогів та прототипів.

Оцінювання можливості та доцільності продовження призначених показників здійснюється на підставі:

– початкової та додатково отриманої інформації про надійність та технічний стан виробів протягом призначених терміну служби, терміну зберігання, транспортування на призначену дальність та витрати ресурсу;

– результатів прогнозування надійності та технічного стану виробів на період продовження;

– результатів техніко-економічного аналізу проведених робіт з продовження.

В загальній номенклатурі призначених показників ЗКР розрізняють 4 види призначених показників:

- призначені показники терміну служби;
- призначені показники ресурсу;
- призначені показники зберігання;
- призначені показники транспортування.

Для оцінювання можливості та доцільності продовження призначених показників ЗКР необхідно вирішити комплекс завдань з оцінювання та прогнозування відповідних показників надійності. Так,

для продовження призначеного терміну служби ЗКР необхідно мати оцінки показників залишкового терміну служби: середнього залишкового терміну служби та гамма-відсоткового залишкового терміну служби. При цьому показники залишкового терміну служби виробу повинні бути не менше нового призначеного терміну служби, який встановлюється. Встановлені нові призначені показники ресурсу, транспортування, зберігання повинні бути в межах нового призначеного терміну служби. Сучасні ЗКР, як об'єкти продовження призначених показників, відносяться до таких, що не обслуговуються, не відновлюються та не ремонтуються.

Тому, ремонтпридатність ЗКР не розглядається. Працездатний стан та правильне функціонування ЗКР при передстартовій підготовці, пуску і виконанні польотного завдання з наведенням на ціль повністю визначається збережуваністю та безвідмовністю (довговічністю).

В табл. 1 наведена номенклатура призначених показників ЗКР та відповідних показників надійності [3], величини яких необхідно знати для прийняття обґрунтованих рішень щодо продовження призначених показників.

Таблиця 1

Види, номенклатура призначених показників ЗКР та показників надійності

Найменування видів призначених показників	Номенклатура	
	призначених показників	показників надійності
Призначені показники терміну служби	$T_{сл.пр.}, T_{сл.пр.р.}, T_{сл.пр.сп.}$	$T_{сл.}(\tau_k), T_{сл.γ}(\tau_k)$
Призначені показники ресурсу	$T_{р.пр.}, T_{р.пр.р.}, T_{р.пр.сп.}, N_{ув. пр.}, N_{зчл.пр.}$	$t_p(\tau), t_{pγ}(\tau), N_{ув. сеп.}(N_{ув.к}), N_{зчл.сеп.}(N_{зчл.к}), N_{ув. γ}(N_{ув.к}), N_{зчл. γ}(N_{зчл.к})$
Призначені показники зберігання	$T_{зб.пр.}, T_{зб.пр.лк.}, T_{зб. пр.сп.}$	$T_{зб.}(\tau_k), t_{зб.γ}(\tau), P(t_{зб.})$
Призначені показники транспортування	$L_{тр.пр.}$	$P(I_{тр.}), L_{тр.сеп.}(I_{тр.к}), L_{тр.γ}(I_{тр.к})$

В таблиці прийняті наступні позначення:

–  $T_{сл.пр.}, T_{сл.пр.р.}, T_{сл. пр.сп.}$  – призначений термін служби; призначений термін служби до ремонту, призначений термін служби до списання відповідно;

–  $T_{р.пр.}, T_{р.пр.р.}, T_{р. пр.сп.}$  – призначений ресурс; призначений ресурс до ремонту; призначений ресурс до списання відповідно;

–  $N_{ув. пр.}, N_{зчл.пр.}$  – призначена кількість циклів увімкнень бортового обладнання; призначена кількість зчленувань відривного електророз'єднувача відповідно;

–  $T_{зб.пр.}, T_{зб.пр.лк.}, T_{зб. пр.сп.}$  – призначений термін зберігання; призначений термін зберігання до переконсервації, призначений термін зберігання до списання відповідно;

–  $L_{тр.пр.}$  – призначена дальність транспортування;

–  $T_{сл.}(\tau_k), T_{сл.γ}(\tau_k), t_p(\tau), t_{pγ}(\tau)$  – середній залишковий термін служби;  $γ$ -відсотковий залишковий термін служби понад час  $\tau_k$  ( $\tau_k$  – календарна тривалість експлуатації на момент контролю); середній залишковий ресурс та  $γ$ -відсотковий залишковий ресурс понад наробіток  $\tau$  ( $\tau$  – ресурс, витрачений на момент контролю) відповідно;

–  $N_{ув. сеп.}(N_{ув.к}), N_{зчл.сеп.}(N_{зчл.к}), N_{ув. γ}(N_{ув.к}), N_{зчл. γ}(N_{зчл.к})$  – середня залишкова кількість увімкнень бортового обладнання; середня залишкова кількість зчленувань відривного електророз'єднувача;  $γ$ -відсоткова залишкова кількість увімкнень бортового обладнання;  $γ$ -відсоткова залишкова кількість зчленувань відривного електророз'єднувача понад кількість увімкнень  $N_{ув.к}$ , кількість зчленувань ( $N_{зчл.к}$ ), які виконані на момент контролю відповідно;

–  $T_{зб.}(\tau_k), t_{зб.}(\tau)$  – середній залишковий термін збережуваності понад календарну тривалість експлуатації  $\tau_k$ ;  $\gamma$ -відсотковий залишковий термін збережуваності понад наробіток  $\tau$  відповідно;

–  $P(t_{зб.})$  – імовірність безвідмовного зберігання за час зберігання  $t_{зб.}$ ;

–  $P(l_{тр.})$  – імовірність безвідмовного транспортування на задану відстань  $l_{тр.}$ ;

–  $L_{тр.ср.}(l_{тр.к}), L_{тр.}(\gamma)(l_{тр.к})$  – середня залишкова дальність транспортування;  $\gamma$ -відсоткова залишкова дальність транспортування понад дальність транспортування  $l_{тр.к}$ , яка зафіксована на момент контролю відповідно.

Вищенаведені показники залишкової надійності (залишковий термін служби, залишковий ресурс понад час  $\tau_k$  та наробіток  $\tau$  та інші) використовуються при вирішенні завдань продовження призначених показників. Під залишковим ресурсом розуміється сумарний наробіток об'єкту від моменту контролю його технічного стану до переходу в граничний стан [3]. Під середнім залишковим ресурсом виробу розуміють математичне очікування залишкового ресурсу.

ЗКР, як об'єкт аналізу надійності, є складною технічною системою. Складність її дослідження при вирішенні завдань продовження призначених показників полягає в необхідності аналізу складних фізико-хімічних процесів в елементах ЗКР, складності та багаточисельності їх взаємозв'язків, наявністю чіткого алгоритму взаємодії елементів, які виконують певну функцію окремо, та основні функції ЗКР в цілому та ін. Тому поряд з аналізом конструктивної схеми ЗКР, призначенням її складових частин необхідний аналіз її функціональних схем в різних режимах. У зв'язку з цим необхідна розробка СФСН, які на відміну від відомих структурних схем надійності [1] розглядають не тільки конструктивні елементи ЗКР, але і явища, які здатні приводити до відмов, в тому числі обумовлені зв'язками між елементами. СФСН застосовуються для коректування вимог до надійності ЗКР та її складових частин, забезпечення ефективного використання різномірної інформації про складові частини при оцінці їх надійності. СФСН встановлює зв'язок між взаємодіючими елементами системи та її параметрами [5]. Показники надійності, які оцінюються на основі аналізу СФСН, використовуються для розрахунків відповідних показників надійності, які наведені у табл. 1.

ЗКР середньої і малої дальності, як правило, побудовані за типовим принципом та конструктивним складом. Їх СФСН необхідно розробляти для режимів передстартової підготовки, пуску і польоту. Нижче в якості прикладу розглядається СФСН для режимів пуску і польоту ЗКР. Для цього спочатку розглянуто конструктивний склад ЗКР і функціонування ЗКР у режимах пуску і польоту.

ЗКР складаються з наступних основних складових частин:

– ракетний двигун твердого палива (РДТП) і конструкція (планер);

– бортове обладнання, яке містить у своєму складі: радіолокаційну головку самонаведення (РГС); автопілот (АП); бойову частину (БЧ); запобіжно-виконавчий механізм (ЗВМ); радіовзривник (РВ); кабельну мережу, відривний електророз'єднувач; бортове джерело живлення (БДЖ); сигналізатори тиску; систему газоживлення тощо.

В пусковому циклі ЗКР функціонують БДЖ; система газоживлення; РДТП, а також задіюється кабельна мережа та вилка відривного електророз'єднувача. При польоті ЗКР на активній ділянці функціонують всі її складові частини та комплектувальні вироби, окрім ПП та вилки відривного електророз'єднувача.

Функціональна схема ЗКР для режимів пуску і польоту наведена на рис. 1.

ЗКР є працездатною в режимах пуску і польоту, якщо працездатні всі складові частини, комплектувальні вироби та зв'язки між ними, які забезпечують її правильне функціонування в цих режимах. Відповідно до умови працездатності ЗКР наведена СФСН ЗКР для режимів пуску і польоту (рис. 2). Показником надійності ЗКР в режимах пуску і польоту є умовна імовірність  $P_{п.}(t_{п.}/t_{п.п.}, t_{к.п.})$  безвідмовної роботи (ІБР) ЗКР за час пуску і виконання польотного завдання  $t_{п.}$  за умови позитивного результату контролю передстартової підготовки тривалістю  $t_{п.п.}$ , розпочатого в час  $t_{к.п.}$  (далі – ІБР за час пуску і польоту ЗКР). ІБР за час пуску і польоту ЗКР визначається безвідмовністю всіх складових частин та їх комплектувальних виробів, які виконують функції під час пуску і польоту ЗКР. Виходячи з цього ІБР за час пуску і польоту ЗКР розраховується за співвідношенням:

$$P_{п.}(t_{п.}/t_{п.п.}, t_{к.п.}) = P_{пл.п.}(t_{пл.п.}/t_{пл.п.п.}) \cdot P_{рд.п.}(t_{рд.п.}/t_{рд.п.п.}, t_{рд.к.п.}) \cdot P_{бо.п.}(t_{бо.п.}/t_{бо.п.п.}, t_{бо.к.п.}), \quad (1)$$

де  $P_{пл.п.}(t_{пл.п.}/t_{пл.п.п.})$  – імовірність неруйнування планеру за час пуску і польоту ЗКР, за умови його працездатного стану на момент пуску ЗКР;

$P_{бо.п.}(t_{бо.п.}/t_{бо.п.п.}, t_{бо.к.п.})$  – ІБР бортового обладнання ЗКР за час його функціонування  $t_{бо.п.}$ , за умови позитивного результату його контролю за час передстартової підготовки  $t_{бо.п.п.}$ , розпочатого в час  $t_{к.п.}$ ;

$P_{рд.п.}(t_{рд.п.}/t_{рд.п.п.})$  – ІБР РДТП за час  $t_{п.}$  за умови його працездатного стану на момент пуску ЗКР (імовірність штатного функціонування РДТП).

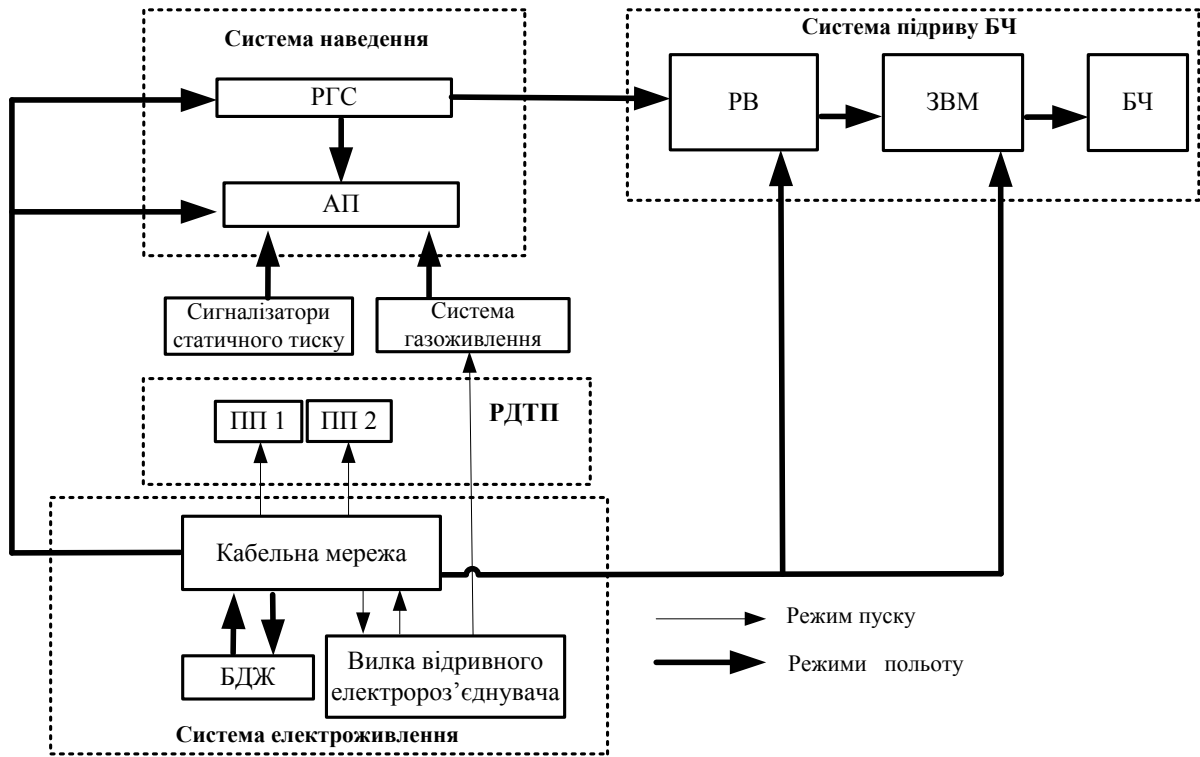


Рис. 1. Функціональна схема для режимів пуску і польоту ЗКР

Працездатність ЗКР на момент пуску визначається збереженістю РДТП та інших складових частин ЗКР, які при експлуатації не контролюються.

ІБР бортового обладнання ЗКР для режимів пуску і польоту визначається безвідмовністю виробів, які виконують функції під час пуску і польоту ЗКР  $t_{п}$ . Виходячи з цього ІБР бортового обладнання ЗКР для режиму пуску і в польоті розраховується за наступним співвідношенням:

$$P_{бо п}(t_{бо п} / t_{бо п.п.}, t_{бо к.п.}) = \prod_{i=3}^{10} P_{i п}(t_{i п} / t_{i п.п.}, t_{i к.п.}), (2)$$

де  $P_{i п}(t_{i п} / t_{i п.п.}, t_{i к.п.})$  – ІБР  $i$ -го елемента СФСН ЗКР за час  $t_{п}$  за умови його працездатного стану на момент пуску ЗКР. При цьому ІБР  $i$ -го елемента СФСН визначається як імовірність відповідної події СФСН, яка наведена на рис. 2, однозначно встановлює взаємозв'язки між показниками надійності ЗКР в цілому та показниками надійності елементів СФСН.

Для розробки СФСН ЗКР, її складових частин необхідно встановити поняття їх працездатного стану та відмови.



Рис. 2. СФСН ЗКР для режимів пуску і польоту

Працездатність складових частин, які забезпечують правильне функціонування ЗКР, визначається працездатністю комплектувальних виробів, які входять до їх складу, та зв'язків між ними. Під відмовою ЗКР розуміють подію, яка полягає у порушенні потрібної цілісності складових частин та комплектувальних виробів ЗКР та їх зв'язків або заданої по-

слідовності їх спрацювання, які приводять або здатні привести до невиконання бойового завдання.

Нижче в якості прикладу розглядається СФСН РДТП для режимів пуску і польоту ЗКР. Для цього спочатку розглянуто конструктивний склад РДТП, його структурну схему у режимах пуску і польоту ЗКР.

До конструктивного складу РДТП входять наступні основні складові частини: засіб ініціювання (ПП); запальник; заряд твердого палива (ТП); корпус РДТП; сопловий блок; переднє днище; заднє днище; герметичні ущільнення; захисна діафрагма; теплозахисне покриття (ТЗП), яким покриті внутрішня поверхня корпусу РДТП, переднє та заднє

днище. В режимі пуску в РДТП спрацьовує засіб ініціювання і запальник, який запалює заряд ТП. В польоті ЗКР в РДТП функціонують заряд ТП, ТЗП, корпус, сопловий блок, герметичні ущільнення.

Нижче на рис. 4 наведена структурна схема РДТП при його функціонуванні в режимах пуску і польоту ЗКР.

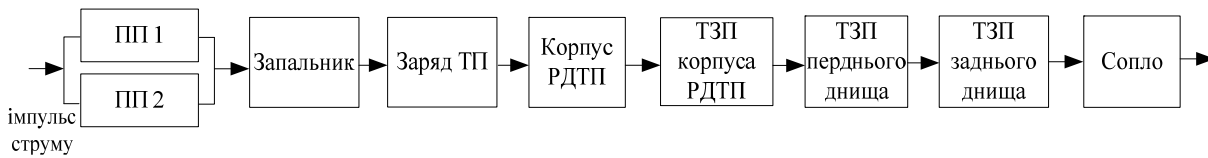


Рис. 3. Структурна схема РДТП в режимах пуску і польоту ЗКР

Поняття відмови РДТП можна конкретизувати, як подію, яка полягає в порушенні необхідної цілісності елементів та їх зв'язків або заданої послідовності спрацьовувань елементів, які приводять або можуть привести до невиконання завдання ЗКР, складовою частиною якої є РДТП. РДТП є працездатним, якщо працездатні всі складові частини і

комплектувальні вироби, які входять до його складу та зв'язки між ними.

Відповідно до умови працездатності РДТП та послідовності спрацьовування його елементів СФСН РДТП при пуску і в польоті ЗКР можна представити у вигляді, наведеному на рис. 4.



Рис. 4. СФСН РДТП для режимів пуску і польоту ЗКР

Так як РДТП ЗКР на інтервалі експлуатації, який обмежений призначеним терміном служби, є таким, що не контролюється, не обслуговується і не відновлюється, то в якості його основного показника надійності прийнята ІБР РДТП за час його функціонування за умови його працездатного стану на момент пуску ЗКР [5; 6].

Під ІБР РДТП розуміють імовірність того, що при використанні РДТП за призначенням в довільний момент часу експлуатації (момент пуску) за задану тривалість функціонування РДТП у заданих умовах і в межах призначеного терміну служби відмова РДТП не виникне. ІБР РДТП за час його функціонування визначається безвідмовністю всіх комплектувальних виробів РДТП, які виконують функції під час пуску і роботи РДТП.

У відповідності з СФСН умовна ІБР РДТП за час його функціонування однозначно визначається через добуток імовірності безвідмовного спрацьовування хоча б одного з двох ПП, імовірності штатного горіння запальника та запалювання заряду ТП та інші імовірності подій, які наведені на рис. 4.

## Висновки

В статті розглянуті науково-методичні положення з організації та проведення робіт з продовження призначених показників ЗКР в частині розробки СФСН, встановлення номенклатури призначених показників та їх нових значень, які повинні бути вказані у технічному завданні на проведення робіт з продовження. При розробці програми робіт з продовження повинні бути обґрунтовані перелік робіт на визначених рівнях розукрупнення ЗКР з дослідження технічного стану, надійності та безпеки ЗКР. При цьому повинні контролюватися відповідні показники залишкової надійності ЗКР в цілому, її складових частин, комплектувальних виробів, матеріалів та речовин. В якості прикладів розглянуті питання розробки СФСН ЗКР і РДТП для режимів пуску і польоту.

## Список літератури

- ГОСТ 27.301. Надійність в техніці. Расчёт надёжности. Основные положения.

2. ГОСТ В 21258. Двигатели ракетные твёрдого топлива. Основные положения по обеспечению и контролю надёжности.

3. ГОСТ 27.002. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения.

4. ГОСТ 27.410. Надёжность в технике. Методы контроля показателей надёжности и планы контрольных испытаний на надёжность.

5. Ланецкий Б.Н. Особенности анализа надёжности ракетных двигателей твёрдого топлива зенитных управляемых ракет для решения задач продления их назначенных показателей / Б.Н. Ланецкий, И.В. Коваль, В.В. Лукьянчук, А.А. Шоколовский, В.П. Попов // Наука і

техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2010. – № 2(4). – С. 82-87.

6. Ланецкий Б.Н. Основы теории надёжности, эксплуатации и ремонта средств зенитных ракетных систем: учебное пособие. Ч.1; под ред. Б.Н. Ланецкого / Б.Н. Ланецкий, В.С. Жуков, А.С. Алексеев. – Х.: ХУПС, 2009. – 509 с.

Надійшла до редколегії 21.12.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Б.О. Демідов, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**ОБЩИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЮ РАБОТ ПО ПРОДЛЕНИЮ НАЗНАЧЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗЕНИТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ. НОМЕНКЛАТУРА НАЗНАЧЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ НАДЕЖНОСТИ**

Б.Н. Ланецкий, И.В. Коваль, В.В. Лукьянчук, В.П. Попов

*В статье рассматриваются научно-методические положения по организации и проведению работ по продлению назначенных показателей зенитных управляемых ракет. Разработанные положения используются для формирования технического задания на проведение этих работ и обоснования необходимых видов работ для программы работ по продлению назначенных показателей.*

**Ключевые слова:** работы по продлению назначенных показателей, уровни разукрупнения зенитных управляемых ракет, номенклатура назначенных показателей, структурно-функциональные схемы надёжности.

**GENERAL SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL STATEMENTS ABOUT ORGANIZATION AND EXECUTION OF OPERATIONS FOR PROLONGATION OF SURFACE-TO-AIR MISSILE STATED CHARACTERISTICS. NOMENCLATURE OF STATED CHARACTERISTICS, STRUCTURAL AND FUNCTIONAL SCHEMES OF DEPENDABILITY**

B.M. Lanetsky, I.V. Koval, V.V. Lukyanchuk, V.P. Popov

*Scientific and methodological statements about organization and execution of operations for prolongation of surface-to-air missile stated characteristics are considered. Developed statements are used for forming of requirements specification for execution of such operations, and for substantiation of necessary types of operations, which work program of prolongation of stated characteristics includes.*

**Keywords:** levels of fragmentation of surface-to-air missiles, nomenclature of stated characteristics, operations for prolongation of stated characteristics, structural and functional schemes of dependability.