

УДК 681.518.54.4

С.Е. Попов

Національний університет оборони України, Київ

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ІНЖЕНЕРНО-РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК

*Досліджується актуальна задача оцінки ефективності функціонування системи інженерно-радіоелектронного забезпечення військових частин радіотехнічних військ в ході ведення операцій (бойових дій). Запропоновано розрахункові співвідношення для математичного моделювання процесу функціонування системи інженерно-радіоелектронного забезпечення військових частин радіотехнічних військ.*

**Ключові слова:** інженерно-радіоелектронне забезпечення, ефективність функціонування, математична модель, радіоелектронна техніка, підсистема відновлення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день радіотехнічні війська (РТВ) залишаються основним джерелом інформації про повітряну обстановку в Збройних силах (ЗС) України і складають основу системи розвідки та попередження про повітряного противника, як складової загальної системи проти-повітряної оборони держави. Тому актуальним залишається питання щодо реалізації принципів бойового застосування РТВ, одними з основних яких є: всебічне та повне забезпечення бойового застосування; підтримання та своєчасне відновлення бойової готовності військ в ході підготовки та ведення операцій (бойових дій).

Реалізувати зазначені принципи можливо лише за умов надійного функціонування усіх підсистем технічного забезпечення (ТхЗ) бойового застосування РТВ, як складової системи матеріально-технічного забезпечення (МТЗ) військ.

Питання якості укомплектування, підтримання в готовності до бойового застосування озброєння та військової техніки (ОВТ) РТВ, забезпечення її безвідмовної експлуатації, ремонту та відновлення набувають особливого значення в ході підготовки військ (сил) до ведення операцій (бойових дій) і безумовно впливають на стан бойової готовності, якість виконання бойових завдань військовими частинами (підрозділами) РТВ в ході їх бойового застосування.

Одним з можливих шляхів щодо підвищення рівня бойової готовності та реалізації принципів бойового застосування РТВ в ході підготовки та ведення операцій (бойових дій) є підвищення ефективності функціонування системи інженерно-радіоелектронного забезпечення (ІРЕЗ), як основного виду ТхЗ бойового застосування РТВ.

Слід зазначити, що процес ІРЕЗ військових частин РТВ реалізується в рамках організаційної

структури системи ТхЗ бойового застосування РТВ, декомпозуємої за рівнями ієрархії її побудови і за видами заходів, які забезпечуються.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** стосовно ефективності функціонування різноманітних моделей ТхЗ родів військ ЗС України дає можливість зробити висновок, що всі вони були розроблені для вирішення часткових завдань ТхЗ родів військ і не дають можливості обґрунтувати вимоги до їх складових елементів – відповідних видів забезпечення (зокрема ІРЕЗ, як основного виду ТхЗ бойового застосування РТВ) та комплексно оцінити ефективність їх функціонування в умовах ведення бойових дій. Досвід аналізу і оптимізації складних систем [1, 2] показав доцільність і перспективність їх дослідження шляхом розробки моделей системи, які можна представити у виді структурної, функціональної і математичної моделей.

**Метою даної статті** є розгляд математичної моделі функціонування системи ІРЕЗ військових частин РТВ, що складається із сукупності математичних блоків визначення показників функціонування підсистем, які досліджуються і формалізованого опису функціонування системи в цілому (рис. 1).

### Основна частина

Система ІРЕЗ – це сукупність взаємопов'язаних і взаємодіючих за єдиним замислом елементів (підсистем) з метою укомплектування і підтримання в готовності до бойового застосування радіоелектронної техніки (РЕТ), забезпечення її безвідмовної експлуатації, а також ремонту і відновлення під час відмов чи пошкоджень. За ступенем невизначеності процеси ІРЕЗ носять стохастичний характер. Випадковість величин, що характеризують його складові заходи, обумовлена впливом різних дестабілізуючих факторів, які, у свою чергу, залежать від умов, що постійно змінюються.

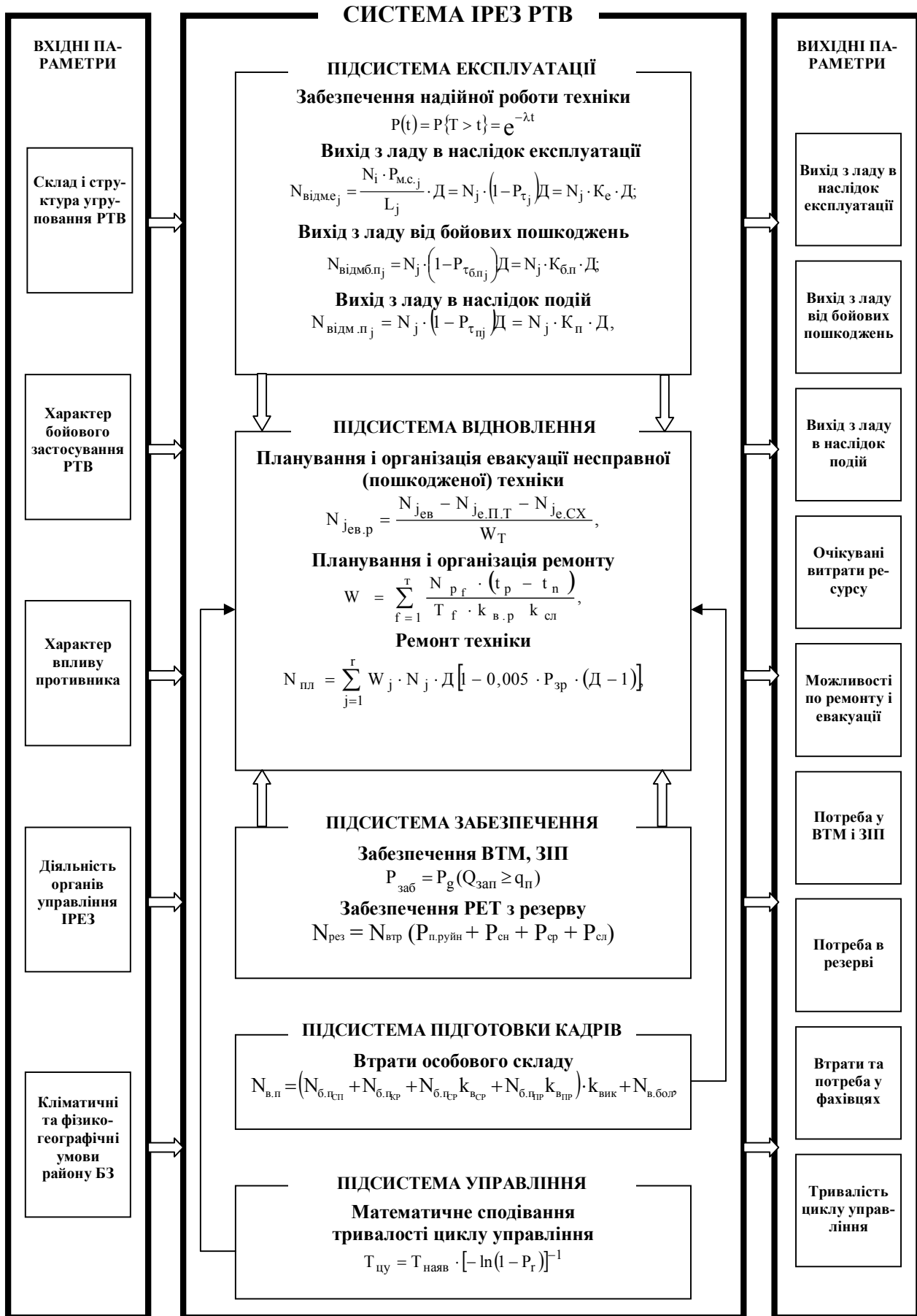


Рис. 1. Математична модель системи ІРЕЗ військових частин РТВ

Система ІРЕЗ складається із взаємозалежних, спільно функціонуючих, об'єднаних єдиною метою п'яти підсистем: експлуатації; відновлення; забезпечення; підготовки кадрів; управління.

Вхідні параметри системи формуються на основі даних про: склад та структуру угруповання РТВ, дислокацію військових частин, підрозділів РТВ; характер бойового застосування угруповання РТВ; характер впливу противника і фізико-географічних умов визначеної операційної зони (ОЗ) або операційного району (ОР) на характер бойового застосування угруповання РТВ; заходи що вживаються в усіх ланках управління в інтересах ІРЕЗ угруповання РТВ.

З даних про бойовий та чисельний склад угруповання РТВ в якості вхідних параметрів моделі подаються: кількість РЕТ  $N_{РЕТ}$  і кількість особового складу  $N_{ос}$ . З блоку даних про характер бойового застосування угруповання РТВ на вхід моделі подаються: ресурс РЕТ, кількість позицій радіотехнічних підрозділів  $N_{п.р.}$  та час перебування на них  $T_{пер}$ . З даних про характер впливу противника на вхід моделі надходить інформація, що характеризує його результативність (коефіцієнт бойового впливу)  $K_{б.в.}$ . З даних блоку дій органів на вхід моделі подаються: кількість нової (відремонтованої) техніки  $N_{надх}$  і періодичність її надходження  $t_{надх}$ .

Вплив вхідних параметрів буде обумовлювати кількість РЕТ, що переходить у той чи інший стан. При цьому потік відмов буде формуватися з двох потоків: відмови від бойових пошкоджень (впливу противника) і відмов з експлуатаційних причин.

Відмови РЕТ будуть відбуватися на всіх етапах циклу, у тому числі на етапах зберігання, експлуатації і відновлення (перехід техніки зі стану функціональних відмов, що вимагає виконання поточного ремонту, у стан повної відмови чи списання).

Функція розподілу експлуатаційних відмов може бути виражена математичними залежностями, які розглядаються в теорії надійності складних ергатичних систем.

Функція розподілу бойових пошкоджень визначається впливом противника, живучістю техніки, рівнем її захисту. Ці фактори є не тільки випадковими, але і мають значний розкид показників, що обумовлено відсутністю інформації для судження про значення параметру чи його розподілу. Розроблена модель дозволяє з достатнім ступенем точності визначити параметри потоку відмов РЕТ від бойових пошкоджень. Цей потік визначає умови функціонування підсистеми відновлення, тому, що фактично є потоком заявок на обслуговування.

Підсистема відновлення функціонує, головним чином, з метою створення рівномірного завантаження (залучення) ремонтних органів (підрозділів), звільнення військових частин (підрозділів) від не-

справної техніки, відновлення якої у військах неможливо чи недоцільно і здійснення ремонту РЕТ в обсязі, що забезпечує швидке відновлення бойової готовності (боездатності) військових частин (підрозділів) угруповання РТВ.

Для математичного опису функціонування підсистеми відновлення обраний метод статистичного моделювання систем масового обслуговування (СМО).

У загальному випадку кількість справної РЕТ на будь-який момент часу в інтервалі  $\tau=t-t_0$  може бути знайдено, якщо відомо:

кількість РЕТ, що недостає до штатної чисельності на  $t_0 - N_{н.шт}(t_0)$ ; кількість несправної РЕТ на  $t_0 - N_{н.т_0}$ ; кількість РЕТ, що вийшла з ладу з різних причин за період часу  $\tau - N_{відм}$ ;

кількість РЕТ, відновленої за період часу  $\tau - N_{в}$ ; кількість РЕТ, що надійшла з вищих органів (інших джерел) –  $N_{надх}$  і до цього моменту не відмовить:

$$N_c = N_{шт} - N_{н.шт,t_0} - N_{н,t_0} - N_{відм} + N_{в} + N_{надх}; \quad (1)$$

$$N_c = N_{шт} K_{y,t_0} \cdot [P_{\tau} + P_{в} (1 - P_{\tau})] + N_{шт} P_{рез} P_{\tau}', \quad (2)$$

де  $N_c$  - кількість справної РЕТ на момент часу  $t$ , од.;

$N_{шт}$  - кількість РЕТ по штату, од.;

$K_{y,t_0}$  - коефіцієнт укомплектованості військової частини РЕТ на момент часу  $t_0$  (початок планованого періоду),  $K_{y,t_0} = 0,95$ ;

$P_{\tau}$  - ймовірність того, що РЕТ не буде виведена з ладу з різних причин за період часу  $\tau = t - t_0$ ;

$P_{в}$  - ймовірність відновлення РЕТ, що вийшла з ладу, і повернення її до ладу до моменту часу  $t$ ;

$P_{рез}$  - ймовірність поповнення РЕТ за рахунок резервів (з баз зберігання, національної економіки, виробництв, підприємств, перерозподіл, тощо) за період часу  $\tau$ ;

$P_{\tau}'$  - ймовірність безвідмовної роботи РЕТ, що надійшла з резервів, з моменту надходження в частину до моменту часу  $t$ .

Аналіз формули (2) показує, що досягти високого значення  $N_c$  можна трьома способами:

забезпеченням безвідмовної роботи РЕТ ( $P_{\tau} \rightarrow 1$ );

своєчасним відновленням і поверненням до ладу пошкодженої РЕТ ( $P_{в} \rightarrow 1$ );

організацією надходження необхідної кількості РЕТ з резерву ( $P_{рез} \rightarrow 1$ ).

Ймовірність того, що РЕТ не буде виведена з ладу з різних причин за період часу  $\tau$  з припустимою для оперативних розрахунків точністю, може бути визначена як добуток ймовірностей трьох практично незалежних подій:

$$P_{\tau} = P_{\tau_e} \cdot P_{\tau_{б.п}} \cdot P_{\tau_{п}}, \quad (3)$$

де  $P_{\tau_e}$  - ймовірність того, що за період часу  $\tau$  РЕТ не буде мати відмов з експлуатаційних причин (фактор надійності РЕТ);  $P_{\tau_{б.п}}$  - ймовірність того, що за

період часу  $\tau$  РЕТ не буде мати відмов через бойові ушкодження (фактор живучості РЕТ);  $P_{\tau n}$  – ймовірність того, що за період часу  $\tau$  РЕТ не буде мати відмов у результаті подій (помилки особового складу). Для практичних розрахунків ці ймовірності варто прийняти рівними:

$$P_{\tau e} = P(L > \tau) = e^{-\lambda\tau}, \quad (4)$$

де  $\lambda = 1/L_{cp}$  – інтенсивність відмов РЕТ,  $L_{cp}$  – середній наробіток на відмову;

$$P_{\tau_{6.п}} = 1 - K_{6.п}, \quad (5)$$

де  $K_{6.п}$  – середньодобовий коефіцієнт виходу РЕТ з ладу від бойових пошкоджень;

$$P_{\tau_{п}} = 1 - K_{п}, \quad (6)$$

де  $K_{п}$  – середньодобовий коефіцієнт виходу РЕТ з ладу в результаті подій.

Досвід бойових дій показує, що величина  $P_{\tau}$  може приймати значення: 0,9 - 0,95 для періоду часу  $\tau$ , рівному одній добі. Створити умови, при яких  $P_{\tau} = 1$  практично неможливо.

Функціонування системи ІРЕЗ угруповання РТВ може бути представлено у виді потоків РЕТ, технічного майна та інформації, що циркулюють у відповідних органах управління (штабах), військових частинах (підрозділах) та відділах (службах).

В ході бойових дій (бойового застосування) визначена кількість РЕТ буде переходити з працездатного стану в інші з інтенсивністю  $\lambda$  убік погіршення технічного стану і з інтенсивністю  $\mu$  убік відновлення працездатності. Інтенсивність потоків убік відновлення працездатності техніки визначається добовими можливостями ремонтних органів (підрозділів). Кількість РЕТ, що знаходиться в тому чи іншому стані, визначається із системи диференціальних рівнянь. Система рівнянь (7) вирішується чисельним методом з дискретним кроком за часом, що дозволяє врахувати ряд важливих особливостей функціонування системи, а саме: пріоритети в ремонті РЕТ, що вимагає менших трудовитрат; пріоритети в ремонті РЕТ виходячи з важливості завдань, що виконуються підрозділами; втрати часу на очікування евакуації і ремонту; зміна кількості відмов РЕТ і продуктивності ремонтних органів (підрозділів) за цикл часу:

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = N_0\lambda_i - N_i\mu_i, \quad (7)$$

де  $i = 1 \dots 9$  - стан РЕТ;  $N_0$  - кількість РЕТ, яка знаходиться в працездатному стані;  $N_i$  - кількість пошкодженої РЕТ, яка знаходиться в тому чи іншому стані;  $\lambda_i = 1/t_{надх}$  - інтенсивність надходження на вхід підсистеми відновлення заявки і-го виду;  $\mu_i = 1/t_{в}$  - інтенсивність задоволення підсистемою відновлення заявки і-го виду.

Аналіз надійності РЕТ, умов експлуатації та впливу противника дозволяє виявити очікуваний вихід РЕТ з ладу в ході ведення операцій (бойових дій).

Розподіл РЕТ на групи дозволяє з достатньою точністю прогнозувати витрати ресурсу в умовах невизначеності на майбутній період бойових дій, оцінити різні варіанти використання РЕТ, визначити шляхи економії ресурсу і, у кінцевому рахунку, підвищити ефективність їх застосування. Для цього використовуються такі математичні залежності:

$$N_{відм.еj} = \frac{N_i \cdot P_{м.с.j}}{L_j} \cdot D = \quad (8)$$

$$= N_j \cdot (1 - P_{\tau_j}) D = N_j \cdot K_e \cdot D;$$

$$N_{відм.б.пj} = N_j \cdot (1 - P_{\tau_{6.пj}}) D = N_j \cdot K_{6.п} \cdot D; \quad (9)$$

$$N_{відм.пj} = N_j \cdot (1 - P_{\tau_{пj}}) D = N_j \cdot K_{п} \cdot D, \quad (10)$$

де  $N_{відм.(е,б,п)j}$  - очікувана кількість РЕТ, що відмовить у j-й групі засобів з експлуатаційних причин, бойових пошкоджень чи подій відповідно;  $P_{м.с.j}$  - середньодобова витрата ресурсів одним засобом j-ої групи;  $N_j$  - кількість засобів у групі, од.;  $L_j$  - середнє напрацювання на відмову для засобів i-тої групи;  $K_e$  - середньодобовий коефіцієнт (частка) виходу РЕТ з ладу з експлуатаційних причин;  $D$  - тривалість планованого періоду, доба.

Кількість відмов РЕТ з вини особового складу (10) звичайно включають у бойові чи експлуатаційні відмови  $N_{відм.п}$  і можуть складати 1,5...3% від облікової кількості РЕТ за добу.

Вихід РЕТ з ладу від бойових пошкоджень і експлуатаційних причин не залежить один від одного і, разом з тим, можливе їх сполучення, тобто в зону ураження може потрапити РЕТ, що одержала до цього експлуатаційне пошкодження. Отже, математичне сподівання загального виходу РЕТ з ладу можна визначити за формулою:

$$M[N_{заг}] = \sum_{i=1}^n N_i P_{y_i}, \quad (11)$$

де  $M[N_{заг}]$  – математичне сподівання загальної кількості пошкодженої РЕТ;  $N_i$  - кількість пошкодженої РЕТ;  $P_{y_i}$  - ймовірність ураження РЕТ і-того ступеня;  $i$  - ступінь пошкодження РЕТ (1 – слабка, 2 – середня, 3 – сильна, 4 – повна, що відповідає поточному, середньому, капітальному ремонтам і сплануванню);  $n$  - кількість ступенів ураження (видів відновлення).

Після визначення ймовірного виходу техніки з ладу і розподілу її за видами ремонту проводиться оцінка можливостей засобів ІРЕЗ щодо ремонту і евакуації ушкодженої техніки.

Добові виробничі можливості підрозділів ТхЗ частин угруповання РТВ W розраховуються з ура-

уванням встановлених обмежень по трудомісткості виконуваних робіт за формулою:

$$W = \sum_{f=1}^r \frac{N_{pf} \cdot (t_p - t_n)}{T_f \cdot k_{в,р} \cdot k_{сл}}, \quad (12)$$

де  $N_{pf}$  - кількість ремонтників у f-му ремонтному органі (підрозділі), чол.;

$t_p$  - добовий фонд робочого часу (10...12 год.);

$t_n$  - втрати часу на переміщення, евакуаційні роботи, згортання, розгортання, спеціальну обробку РЕТ, год.;

$k_{в,р}$  - коефіцієнт, що враховує використання інших фахівців при різних видах робіт;

$k_{сл}$  - коефіцієнт, що враховує складність умов роботи (вночі  $k_{сл} = 0,8...0,9$ , в засобах захисту  $k_{сл} = 0,75...0,8$ , при сполученні з бойовою діяльністю  $k_{сл} = 0,8...0,9$ );

$T_f$  - трудомісткість робіт для f-х ремонтних органів з урахуванням умов дій, чол./г;

$r$  - кількість ремонтних органів (підрозділів).

Для визначення кількості РЕТ, яка зазнала сильних пошкоджень, і відновлюється в ремонтних органах військових частин (підрозділів) угруповання РТВ, доцільно використовувати залежність:

$$N_{пл} = \sum_{j=1}^r W_j \cdot N_j \cdot D [1 - 0,005 \cdot P_{зр} \cdot (D - 1)], \quad (13)$$

де  $W_j$  - добові можливості j-го ремонтного засобів, од;

$N_j$  - кількість ремонтних засобів j-го типу, од.;

$D$  - плановий період, доба;

$P_{зр}$  - ймовірність середньодобового виходу з ладу засобів ремонту, %;

$r$  - кількість типів ремонтних засобів, од.

Для забезпечення ефективної роботи ремонтних засобів потік ремонтного фонду евакуації повинен перевищувати їх добові можливості щодо виконання відповідних видів ремонту.

Для визначення кількості реально евакуйованої РЕТ  $N_{j\text{ев,р}}$  необхідно визначити кількість пошкодженої РЕТ, яка підлягає евакуації  $N_{j\text{ев}}$ :

$$N_{j\text{ев}} = K_{ев} N_{відм_j}, \quad (14)$$

де  $K_{ев}$  - коефіцієнт, який враховує необхідність евакуації для подальшого ремонту  $N_{j\text{ев}} \geq N_{j\text{ев,р}}$  зразків РЕТ із загальної кількості  $N_{відм_j}$  пошкодженої РЕТ (в розрахунках, в умовах ведення оборонних дій військ можна прийняти  $K_{ев} = 0,7...1,0$ , в умовах ведення наступальних дій значення  $K_{ев}$  може бути меншим).

Задавши кількість виділених машин (тягачів) для евакуації, розраховується кількість реально евакуйованої РЕТ в ремонтні органи військових частин (підрозділів) РТВ за виразом:

$$N_{j\text{ев,р}} = \frac{N_{j\text{ев}} - N_{j\text{е.П.Т}} - N_{j\text{е.СХ}}}{W_T}, \quad (15)$$

де  $N_{j\text{е.П.Т}}$  - кількість (частка) РЕТ, евакуація яких проводиться попутним транспортом;

$N_{j\text{е.СХ}}$  - кількість (частка) РЕТ, евакуація яких проводиться своїм ходом.

Основними напрямками евакуації РЕТ угруповання РТВ є:

для РЕТ, яка зазнала сильних пошкоджень – на збірні пункти пошкодженої техніки і машин (ЗПТМ) з подальшим її відправлення для проведення капітального відновлювального ремонту на ремонтні (промислові) підприємства;

для РЕТ, яка зазнала повного руйнування – до частин МТхЗ (баз зберігання ОВТ) для подальшого його списання та розбирання.

Відновлення бойових втрат РЕТ військових частин і підрозділів РТВ проводиться введенням в дію тактичного та технічного резервів.

Потрібна кількість резерву  $N_{рез}$  РЕТ в угрупованні РТВ при існуючій системі відновлювального ремонту може бути визначена:

$$N_{рез} = N_{втр} \left( \begin{array}{l} P_{п.руйн} + P_{сн} e^{\left(\frac{t_{доп}}{T_{в.сн}}\right)_+} \\ + P_{ср} e^{\left(\frac{t_{доп}}{T_{в.ср}}\right)_+} + P_{сл} e^{\left(\frac{t_{доп}}{T_{в.сл}}\right)_+} \end{array} \right), \quad (16)$$

де  $N_{втр}$  – загальна кількість очікуваних втрат ОВТ;

$P_{п.руйн}$ ,  $P_{сн}$ ,  $P_{ср}$ ,  $P_{сл}$  – ймовірності отримання повних руйнувань, сильних, середніх та слабких пошкоджень відповідно;

$t_{доп}$  – допустимий час на відновлення боєздатності угруповання РТВ;

$T_{в.сн}$ ,  $T_{в.ср}$ ,  $T_{в.сл}$  – середній час відновлення (математичне сподівання часу відновлення працездатності) після сильного, середнього або слабого пошкодження.

Середній час відновлення за даними експлуатації РЕТ розраховується таким чином:

$$T_B = \frac{1}{n_B} \sum_{i=1}^n t_{vi}, \quad (17)$$

де  $t_{vi}$  - тривалість відновлення i-ої відмови;

$n_B$  - число відновлених зразків ОВТ (або відновлення одного зразка) за допустимий час на відновлення.

Очікувані втрати особового складу визначаються за формулою:

$$N_{в.п} = \left( \begin{array}{l} N_{б.л.СП} + N_{б.л.КР} + \\ + N_{б.л.СР} k_{в.СР} + N_{б.л.ПР} k_{в.ПР} \end{array} \right) k_{вик} + N_{в.бол}. \quad (18)$$

де  $N_{в.п}$  - загальна кількість особового складу, що вишла зі строю на термін не менш ніж сім діб;

$N_{б.л. СП, КР, СР, ПР}$  - кількість РЕТ, що вимагають списання, капітального, середнього чи поточного ремонту в результаті бойових пошкоджень;

$K_{всп,пр}$  - коефіцієнт, що враховує імовірність виходу із строю особового складу при середніх і слабких пошкодженнях РЕТ;

$K_{вик}$  - коефіцієнт, що враховує час перебування особового складу в причепі (кабіні) чи в безпосередній близькості від РЕТ протягом доби;

$N_{в.бол}$  - середньодобова кількість захворівшого особового складу (може складати до 15% від загальної кількості особового складу).

Необхідно врахувати, що РЕТ, яка вимагає точного ремонту, відновлюється протягом доби, а особовий склад вибуває зі строю на значно більші терміни. Тому, при організації ІРЕЗ необхідно планувати не тільки відновлення РЕТ, але і укомплектування військових частин (підрозділів) РТВ підготовленими фахівцями.

Оперативність управління процесом ІРЕЗ характеризується здатністю системи управління відповідно до поставленої мети і завдань своєчасно приймати і доводити до підпорядкованих військ відповідні рішення та у реальному масштабі часу здійснювати керівництво процесом ІРЕЗ в залежності від умов обстановки.

Оперативність управління системою може бути виражена математичним сподіванням тривалості циклу управління  $M[T_{цу}]$ , рівним відрізка часу між двома черговими етапами прийняття управлінських рішень:

$$T_{цу} = T_{наяв} \cdot [-\ln(1 - P_r)]^{-1}, \quad (19)$$

де  $T_{наяв}$  - наявний час тривалості циклу управління;  $P_r$  - гарантована імовірність тривалості циклу управління ( $P_r = 0.9 \dots 0.95$ ).

## Висновки

Адекватність моделі системи ІРЕЗ процесу, який моделюється визначається:

відповідністю переліку і черговості виконання окремих заходів у моделі реальному процесу;

використанням у моделі в якості тимчасових показників статистичних даних, які отримані в ході навчань і з досвіду експлуатації РЕТ РТВ.

**Дана модель дозволяє**, з достатньою точністю, провести моделювання процесів ІРЕЗ військових частин РТВ і виконати з встановленою якістю поставлені перед системою завдання.

Слід зауважити, що для досягнення мети також **необхідно досліджувати** і характер зміни вихідних параметрів моделі з використанням відповідного критеріального апарату, що дозволить оцінити ефективність функціонування системи ІРЕЗ в цілому і обґрунтувати рекомендації щодо підвищення ефективності її функціонування в умовах ведення бойових дій.

## Список літератури

1. Бусленко Н.П. *Моделирование сложных систем* / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
2. Венцель Е.С. *Исследование операций* / Е.С. Венцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.
3. Мальц Э.А. *Статистическое моделирование систем массового обслуживания* / Э.А. Мальц. – М.: Сов. радио, 1988. – 247 с.
4. Калинин Ю.С. *Случайный поиск методом статистического градиента для функций с дискретно-изменяющимися аргументами* / Ю.С. Калинин. – Р.: Знание, 1985. – 267 с.
5. *Нормативы времени на текущий и средний ремонт, разборку машин, капитальный ремонт агрегатов в подвижных ремонтных частях и подразделениях и методы их расчета.* – М.: ГлавТУ МО СССР, 1983. – 18 с.
6. Петухов Г.Б. *Основы теории массового обслуживания* / Г.Б. Петухов. – Л.: ВИКА имени Можайского, 1974. – 247 с.

Надійшла до редколегії 30.10.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.І. Мірненко, Національний університет оборони України ім. Івана Черняховського, Київ.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНО-РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОИНСКИХ ЧАСТЕЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ВОЙСК

С.Э. Попов

*Исследуется актуальная задача оценки эффективности функционирования системы инженерно-радиоэлектронного обеспечения воинских частей радиотехнических войск в ходе ведения операций (боевых действий). Предложены расчетные соотношения для математического моделирования процесса функционирования системы инженерно-радиоэлектронного обеспечения воинских частей радиотехнических войск.*

**Ключевые слова:** инженерно-радиоэлектронное обеспечение, эффективность функционирования, математическая модель, радиоэлектронная техника, подсистема восстановления.

## THE MATHEMATICAL MODEL FUNCTIONING OF THE SYSTEM ENGINEERING AND ELECTRONIC ENSURING OF MILITARY UNITS RADAR TROOPS

S.E. Popov

*Investigated problem of estimating the actual system efficiency of engineering and electronic support of military units radar troops during the conduct of operations (combat actions). Proposed by Calculated relations for mathematical modeling of functioning of the system engineering and electronic provide of military units radar troops.*

**Keywords:** engineering-radio-electronic maintenance, efficiency of functioning, mathematical model, radio-electronic techniques, a subsystem of restoration.