

УДК 629.78

О.М. Мелешко, І.В. Пасько, Д.О. Сушинський

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії, Суми

## ЗАГАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕДАЧІ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК І АРТИЛЕРІЇ

Розглядаються загальні підходи, які доцільно застосовувати під час моделювання інформаційних процесів у автоматизованій системі управління ракетних військ і артилерії. У статті проведений аналіз основних типів моделей, які можуть застосовуватися при дослідженні інформаційних процесів. Визначенні математичні залежності для дослідження інформаційних процесів, які відбуваються в системі управління ракетних військ і артилерії. На основі даних залежностей визначені основні характеристики даної системи управління. Результати досліджень показали, що на етапі створення базового варіанту вимог і базової структури автоматизованої системи управління ракетних військ і артилерії найбільш оптимальними є математичні моделі, кожна з яких являє собою систему масового обслуговування і характеризується вхідним потоком заявок, механізмом і дисципліною їх обслуговування.

**Ключові слова:** інформаційний процес, система масового обслуговування, інформаційний простір, методи моделювання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Визначення вимог до автоматизованої системи управління (АСУ) в цілому та її складових являється основою всього процесу створення АСУ. Проведені дослідження [1] показали, що в процесі розроблення вимог до АСУ виникає необхідність дослідження процесу функціонування апаратно-програмних засобів, що потребує застосування відповідних моделей. В даній статті наведені загальні підходи, які можуть бути застосовані під час моделювання інформаційних процесів в АСУ РВіА.

**Мета статті** полягає у визначенні математичних залежностей для дослідження інформаційних процесів, які відбуваються в системі управління ракетних військ і артилерії

### Виклад основного матеріалу

Основу функціонування будь-якої АСУ складають процеси передачі та обробки інформації, які отримали назву інформаційного процесу. Розглядаючи його з позиції цільового призначення, можна виділити основні фази перетворення інформації в АСУ, такі як збір, реєстрація, підготовка, передача, збереження, обробка, відображення інформації.

Дані фази перетворення інформації реалізуються на базі окремих функціональних підсистем технічного забезпечення АСУ. Найбільш складним є інформаційний процес в АСУ адміністративного типу, до якого відносяться АСУ військами та бойовими засобами [1].

В інформаційному процесі необхідно забезпечити [2]:

– узгодженість інтенсивності обробки інформації з інтенсивністю її надходження;

– рівномірність завантаження операторів і технічних засобів;

– рішення задач в термін, який не перевищує критичного;

– сумісність і узгодженість роботи технічних засобів АСУ, та інше.

В процесі створення АСУ виникає необхідність проектування апаратно-програмних засобів. При розробці останніх здійснюється забезпечення необхідних характеристик цих засобів, проводиться вибір різних варіантів побудови відповідних комплексів на основі використання моделей і критеріїв для оцінки ефективності [3].

Дослідження процесу функціонування апаратно-програмних засобів і визначення вимог до їх елементів потребує застосування моделей. Елементи системи настільки різноманітні, що недоцільно створювати універсальну модель елементів, які використовуються в усіх частинах системи управління. Достатньо мати набір моделей, які з метою зручності застосування повинні бути оформлені у вигляді окремих модулів.

Дослідження моделей апаратно-програмних засобів може проводитися методами аналітичного та імітаційного моделювання. Вибір моделей базується на основі особливостей функціонування апаратно-програмних засобів і властивостей елементів системи. Основні типи моделей, які можуть застосовуватися при дослідженні інформаційних процесів в АСУ наведені в табл. 1.

При визначенні математичних залежностей для дослідження інформаційних процесів в АСУ застосовують математичний апарат теорії масового обслуговування та методи математичного моделювання.

Таблиця 1

Основні типи моделей, які застосовуватися при дослідженні інформаційних процесів в АСУ

Тип моделі	Можливі математичні методи	Приклади процесів типових АСУ
Однофазні, одноканальні з відмовами, з очікуванням і змішаного типу	ТМО і методи математичного моделювання	Апаратні і програмні засоби АСУ, функціонування АПД
Однофазні, багатоканальні з відмовами, з очікуванням і змішаного типу	ТМО і методи математичного моделювання	Апаратні і програмні засоби АСУ, функціонування АПД
Багатофазні, багатоканальні з очікуванням і змішаного типу	ТМО і методи математичного моделювання	Обслуговування запитів апаратно-програмними засобами. Обслуговування вимог в центрі комутації повідомлень і пакетів
Багатофазні, багатоканальні з замкнутими інформаційними потоками.	Методи математичного моделювання, мережеві методи, теорія графів	Функціонування комплексів апаратно-програмних засобів
Багатофазні, багатоканальні з замкнутими інформаційними потоками. Підсистемами є моделі попередніх типів.	Методи математичного моделювання, сітьові методи, теорія графів	Організація проходження інформації за допомогою апаратно-програмних засобів.

Вхідний потік заявок являє собою ту інформацію, яка циркулює в АСУ.

Потоки заявок можуть бути регулярними або випадковими. Якщо заявки з'являються у суворо визначений час, то такий потік є регулярним (наприклад, підсумкова добова доповідь про положення та стан артилерійського підрозділу, добове розвідувальне зведення).

Для випадкових потоків характеристиками є випадкові моменти появи повідомлень.

До таких потоків відносяться, наприклад, постановка завдань на підготовку непланового вогню по цілі. Характеристикою потоку заявок є інтенсивність потоку  $\lambda(t)$ .

В АСУ РВіА потоки заявок, як правило, є випадковими.

Тому при дослідженні зазвичай використовується простіший потік заявок, який є найгіршим серед потоків з обмеженою післядією. Для нього імовірність появи  $k$  вимог за час  $t$  визначається за формулою [1]:

$$P_k(t) = \left( \frac{(\lambda t)^k}{k!} \right) \cdot e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Час між появою окремих заявок є випадковою величиною.

Імовірність того, що цей час буде не менше деякого значення  $t$  підпорядковується експоненціальному закону і може бути отримано за формулою:  $P(t) = e^{-\lambda t}$ , при  $k=0$ .

Якщо розглядувати безкінечно малий проміжок часу  $\Delta t$  і розкласти функцію  $e^{-\lambda t}$  в ряд то можна записати:  $P(t) = e^{-\lambda \Delta t} \approx 1 - \lambda \Delta t$ .

Середній час надходження заявок буде  $1/\lambda$ .

Перший тип моделі – це найпростіша система масового обслуговування (одноканальна однофазна СМО). Імовірність наявності в системі  $n$  заявок визначається за формулою:  $p_n = (1-p) \cdot p^n$ .

Середня кількість заявок, яка буде знаходитись в системі, складає [4]:

$$M = \sum_{k=0}^{\infty} k p_k = p(1-p) \frac{d}{dp} \left[ \frac{p}{1-p} \right] = \frac{p}{1-p} \quad (2)$$

Імовірність того, що в системі буде більше ніж  $N$  заявок  $P_{N+1}$ , буде дорівнювати:

$$P_{N+1} = \sum_{i=N+1}^{\infty} p_i = p^{N+1} \quad (3)$$

Так як кожна заявка в системі у середньому обслуговується за час  $T/\mu$ , то середній час її перебування в черзі складає:  $t_c = t_{оч} + t_{обсл} = (\mu(1-p))^{-1}$ .

Для багатоканальних однофазних систем аналітичні вирази набувають більш складного вигляду, однак методика отримання аналітичних залежностей залишається без змін. Якщо є  $n$  органів обслуговування, сумарний потік заявок можна вважати рівномірно розподіленим між ними. Тоді на кожен орган обслуговування поступає потік з інтенсивністю  $\lambda^* = \lambda / n$ . Таким чином задача дослідження зводиться

до дослідження функціонування  $n$  однолінійних систем масового обслуговування.

Модель інформаційного процесу є моделлю багатофазного, багатоканального типу з очікуванням, тому вона являє собою систему масового обслуговування й характеризується вхідним потоком заявок, механізмом та дисципліною їх обслуговування.

Так як на вхід  $i$ -го рівня АСУ буде поступати

інформація по декільком каналам (не менше двох), то для побудови математичної моделі інформаційних процесів розглянемо математичний апарат багатоканальної систему масового обслуговування з чергою.

Система диференціальних рівнянь для ймовірностей  $p_0(t), p_1(t), \dots, p_n(t), \dots, p_{n+m}(t)$  має вигляд [5]:

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t); \\ \dots \\ \frac{dp_k(t)}{dt} = -(\lambda + k\mu)p_k(t) + \lambda p_{k-1}(t) + \mu(k+1)p_{k+1}(t); \\ \dots \\ \frac{dp_{n+z}(t)}{dt} = -(\lambda + n\mu)p_{n+z}(t) + \lambda p_{n+z-1}(t) + n\mu p_{n+z+1}(t); \\ \dots \\ \frac{dp_{n+m}(t)}{dt} = -n\mu p_{n+m}(t) + \lambda p_{n+m-1}(t), \end{cases}$$

де  $k = 1, 2, \dots, n-1; q = 0, 1, \dots, m-1$ .

З системи рівнянь отримуємо:

$$P_0 = \left[ 1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{1}{2!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \dots + \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n + \frac{1}{n \cdot n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n+1} \left[ 1 + \left(\frac{\lambda}{n\mu}\right)^m \right] \cdot \left(1 - \left(\frac{\lambda}{n\mu}\right)\right)^{-1} \right]^{-1}; \quad (4)$$

$$P_k = \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k P_0, \quad k = 1, 2, \dots, n;$$

$$P_{n+z} = \frac{1}{n! n^z} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n+z} P_0, \quad z = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Дані формульні залежності дозволяють визначити основні характеристики АСУ:

Імовірність відмови системи

$$P_{\text{відм}} = P_{n+m} = \frac{1}{n! n^m} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n+m} P_0.$$

Відносна пропускна спроможність системи – імовірність обслуговування  $P_{\text{обсл}} = 1 - P_{\text{відм}}$ .

Абсолютна перепускна спроможність системи  $A = \lambda P_{\text{обсл}}$ .

Середній час перебування інформації на черзі  $\bar{t}_{\text{оч}} = \bar{m} / \lambda$ .

Середня довжина черги

$$\bar{m} = \frac{1}{n! n^m} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n-1} \left(1 - \frac{\lambda}{n\mu}\right) \cdot P_0.$$

Середній час перебування інформації в системі

$$\bar{t}_c = \bar{t}_{\text{оч}} + \frac{P_{\text{обсл}}}{\mu}.$$

Середнє число зайнятих каналів  $\bar{z} = A / \mu$ .

Багатофазні, багатоканальні моделі з замкнутими інформаційними потоками характеризуються тим, що заявки, які виходять із системи з деякою імовірністю  $p_i$  можуть поступати на  $i$ -ту фазу цієї системи. Даний випадок є характерним для автоматизованої системи управління.

Аналітичне дослідження подібних систем надзвичайно складне, тому найбільше застосування знаходить метод статистичних випробувань.

Так для двофазної системи зі зворотнім зв'язком необхідно моделювати: моменти надходження заявок на першу фазу та на чергу першої фази на обслуговування; моменти надходження заявок із першої фази на другу фазу й із черги другої фази на обслуговування; моменти закінчення обслуговування на другій фазі; визначення моменту, що обслуговування заявки закінчено, або вона знову повинна надійти на другу фазу.

Використавши описані вище моделі, можна визначити необхідну величину запам'ятовуючого пристрою, тривалість обслуговування інформації, оцінити ступінь обслуговування заявок по часу вирішення задач і визначити показник продуктивності.

Розглянемо деякі підходи при визначенні імовірнісно-часових характеристик процесу обробки інформації апаратно-програмними засобами АСУ.

На етапі прийняття інформації тривалість її обслуговування залежить від сумарного часу демодуляції, декодування та дешифрування [1].

Сумарний час знайдемо, скориставшись формулами:

$$t_{\text{дм}} = \frac{Q}{R_{\text{дм}}}; t_{\text{дк}} = \frac{W}{R_{\text{дк}}}; t_{\text{дш}} = \frac{C}{R_{\text{дш}}}, \quad (6)$$

де  $R_{\text{дм}}$ ,  $R_{\text{дк}}$ ,  $R_{\text{дш}}$  – швидкості обробки інформації демодулятором, декодером та дешифратором відповідно;

$Q$ ,  $W$ ,  $C$  – кількість елементарних операцій, що виконуються в демодуляторі, декодері та дешифраторі відповідно.

Тоді середній час обробки інформації на етапі прийому буде мати вигляд:

$$t_{\text{опр}} = t_{\text{оч}} + t_{\text{Q}} + t_{\text{W}} + t_{\text{C}}. \quad (7)$$

Для забезпечення ефективного управління необхідно, щоб основні показники (час передачі та імовірність не виявлення помилки) відповідали заданим значенням, але помилки, що виникають під час передачі в каналі зв'язку приводять до викривлення повідомлення та втрати інформації. Тому використовують багатократне повторення повідомлення в каналі зв'язку або дублювання шляхів.

Багаторазова передачі по декільком напрямкам зменшує імовірність втрат, але приводить до збільшення часу передачі та розмноження інформації. Ця проблема розв'язується за допомогою селекції повідомлень.

Час селекції ( $T_c$ ) визначається за формулою:

$$T_c = -\frac{1}{\mu} \ln \left( P_{\text{впр}} \cdot \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right). \quad (8)$$

Після закінчення селекції інформація поступає на пристрій реєстрації. Реєстрація необхідна для відновлення процесів, що раніше відбувалися в системі та виявлення ненормально функціонуючих частин системи. Час реєстрації залежить лише від технічних характеристик приладу, що реєструє.

Основним етапом проходження інформації через  $i$ -ту ланку системи управління РВ і А є етап обробки інформації.

Загальний час знаходження інформації в системі на етапі обробки інформації можна визначити за формулою:

$$t_{\text{обр}} = t_{\text{в}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{роб}} + t_{\text{рш}}, \quad (9)$$

де  $t_{\text{в}}$  – час, що відводиться для відображення інформації;

$t_{\text{пр}}$  – час на прийняття рішення;

$t_{\text{роб}}$  – час роботи оператора;

$t_{\text{рш}}$  – час рішення задач.

Також ключовим етапом проходження інформації через  $i$ -ту ланку системи управління є етап передачі інформації. Він, як і етап прийому інформації поділяється на основні підетапи: первинне кодування; захист інформації (шифрування); вторинне кодування; модуляція.

Тривалість обслуговування інформації (заявки), що передається у лінію зв'язку залежить від сумар-

ного часу проходження усіх цих підетапів. Сумарний час знайдемо, скориставшись формулами [1]:

$$t_{1к} = \frac{w}{R_{к1}}; t_{ш} = \frac{c}{R_{ш}}; t_{2к} = \frac{w}{R_{к2}}; t_{м} = \frac{q}{R_{м}} \quad (10)$$

де  $t_{1к}$ ,  $t_{2к}$  – час первинного та вторинного кодування відповідно;

$t_{ш}$  – час проходження інформації через етап захисту (шифрування та ін);

$t_{м}$  – час модуляції (перетворення дискретних повідомлень в аналоговий сигнал по закону АМ, ЧМ, ФМ);  $R_{к1}$ ,  $R_{к2}$ ,  $R_{ш}$ ,  $R_{м}$ , – швидкості обробки інформації кодером, шифратором та модулятором відповідно;

$w$ ,  $c$ ,  $q$  – кількість елементарних операцій, що виконуються в кодері, шифраторі та модуляторі відповідно.

Тоді середній час обробки інформації на етапі передачі буде мати вигляд:

$$t_{\text{пер}} = t_{1к} + t_{ш} + t_{2к} + t_{м} \quad (11)$$

Розглянута математична модель проходження інформації через  $i$ -ту ланку управління буде не повною, якщо не враховувати проходження інформації по каналу зв'язку. Потенційні можливості каналу зв'язку характеризуються пропускнуою здатністю, яка визначається максимальною швидкістю передачі інформації. При відсутності перешкод пропускну здатність обмежуються частотними характеристиками окремих елементів каналу зв'язку, роздільною здатністю друкуючих апаратів та інше.

Наявність перешкод зменшує кількість прийнятої інформації, а як наслідок зменшується пропускну здатність каналу зв'язку.

## Висновки

Основу функціонування будь-якої автоматизованої системи управління складають процеси передачі та обробки інформації, які отримали назву інформаційного процесу.

Найбільш складними є інформаційні процеси в АСУ адміністративного типу до якого відносяться АСУ військами та бойовими засобами.

При дослідженні процесів функціонування апаратно-програмних засобів системи управління і визначенні вимог до АСУ в цілому та її компонентів виникає необхідність застосування моделей.

На етапі створення базового варіанту вимог і базової структури АСУ найбільш оптимальними є математичні моделі, кожна з яких являє собою систему масового обслуговування і характеризується вхідним потоком заявок, механізмом і дисципліною їх обслуговування.

## Список літератури

1. Задера В.П. До питання створення Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України /

В.П. Задера, С.Г. Вертегел // Наука і оборона. – 2001. – №2. – С. 36-38.

2. Модин А.А. Основы разработки и развития АСУ / А.А. Модин. – М.: Наука, 1981. – 279 с.

3. Максименко А.В. Основы проектирования информационно-вычислительных систем и сетей / А.В. Максименко, М.Л. Селезнев. – М.: Радио и связь, 1991. – 320 с.

4. Лукин А.И. Системы массового обслуживания / А.И. Лукин. – М.: Воениздат, 1980. – 189 с.

5. Нецадим М.І. Основи управління та прийняття рішень у військовій справі: Підручник / М.І. Нецадим, В.О. Колесніков, В.О. Мазуренко, В.М. Супрун. – Суми: Слобожанщина, 2000. – 375 с.

Надійшла до редколегії 6.09.2017

**Рецензент:** канд. техн. наук доц. П.В. Полениця, Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії, Суми.

### ОБЩИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РАКЕТНЫХ ВОЙСК И АРТИЛЛЕРИИ

А.М. Мелешко, И.В. Пасько, Д.А. Сушинский

*Рассматриваются общие подходы, которые целесообразно применять при моделировании информационных процессов в автоматизированной системе управления ракетных войск и артиллерии. В статье проведен анализ основных типов моделей, которые могут применяться при исследовании информационных процессов. Определены математические зависимости для исследования информационных процессов, которые происходят в системе управления ракетных войск и артиллерии. На основе данных зависимостей определены основные характеристики данной системы управления. Результаты исследований показали, что на этапе создания базового варианта требований и базовой структуры автоматизированной системы управления ракетных войск и артиллерии наиболее оптимальными являются математические модели, каждая из которых представляет собой систему массового обслуживания и характеризуется входным потоком заявок, механизмом и дисциплиной их обслуживания.*

**Ключевые слова:** информационный процесс, система массового обслуживания, информационное пространство, методы моделирования.

### GENERAL APPROACH TO SIMULATION OF PROCESSES OF TRANSMISSION AND PROCESSING OF INFORMATION IN THE SYSTEM MANAGEMENT OF MISSILE TROOPS AND ARTILLERY

A. Meleshko, I. Pasko, D. Sushinsky

*This article provides general approaches that can be used to model information processes in an automated missile defense and artillery control system. The basis of the functioning of any automated control system are the processes of transmission and processing of information, known as the information process. In the process of developing the requirements for an automated control system, there is a need for a study of the functioning of hardware and software that requires the use of appropriate models. The article analyzes the main types of models that can be used in the study of information processes. This allowed to achieve the goal of determining the mathematical dependencies for the study of information processes that take place in the control system of rocket troops and artillery. Based on these dependencies, the main characteristics of this control system are determined. The results of the research have shown that at the stage of creating the basic version of requirements and the basic structure of the automated control system of missile forces and artillery, mathematical models, each of which represent a system of mass service and characterized by the input flow of applications, the mechanism and discipline of their service, are the most optimal. The obtained results can be used during the development of requirements for the hardware-software of the automated control system and evaluation of their effectiveness.*

**Keywords:** information process, queuing system, information space, modeling methods.