

МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ КІЛЬКОСТІ РЕЗЕРВНИХ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ПІД ЧАС ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ

Існуючі підходи розрахунку кількості резервних засобів зв'язку необхідних для забезпечення заданого рівня живучості системи зв'язку військового формування тактичного рівня управління Збройних Сил України під час ведення бойових дій з метою забезпечення стійкого обміну інформацією в системі управління, ґрунтуються на емпіричних методах, яким притаманні суб'єктивність рішень.

Запропонована модель розрахунку кількості резервних засобів зв'язку системи зв'язку під час ведення бойових дій побудована на основі марківської багатоканальної системи масового обслуговування з обмеженим часом перебування заявки у каналі обслуговування та у черзі на обслуговування.

Системою масового обслуговування в роботі представлено процес відновлення засобів зв'язку в ремонтному підрозділі військового формування тактичного рівня управління Збройних Сил України. На вхід системи поступає потік пошкоджених засобів зв'язку як внаслідок вогневого ураження противником так і через їх обмежену технічну надійність.

Оцінку необхідної кількості резервних засобів зв'язку системи зв'язку під час ведення бойових дій запропоновано проводити порівнянням наявного рівня живучості системи зв'язку на відповідність заданому рівню живучості. Показник, який характеризує рівень живучості системи зв'язку, запропоновано використовувати встановлену величину коефіцієнта збереження ефективності функціонування системи зв'язку за рівнем її укомплектованості працездатними засобами зв'язку.

Запропоновано схему алгоритму визначення кількості резервних засобів зв'язку системи зв'язку, яка забезпечить підтримання заданого рівня її живучості за час ведення бойових дій. Використання даного алгоритму запропонованої моделі спростить етап проведення, та оцінювання результатів розрахунків резервної кількості засобів зв'язку.

Застосування моделі розрахунку резервних засобів зв'язку системи зв'язку під час ведення бойових дій дозволить зменшити вплив суб'єктивного фактору, скоротити час на прийняття рішення, надати можливість визначити потребу в засобах зв'язку з урахуванням можливостей противника щодо вогневого ураження засобів зв'язку, а також врахування технічної надійності засобів зв'язку.

Ключові слова: система зв'язку, живучість системи зв'язку, втрати засобів зв'язку, система масового обслуговування, резерв засобів зв'язку.

Бригадир С.П., Іщенко А.Н., Міночкін А.І., Павлюк Д.О. Модель расчета количества резервных средств связи системы связи при ведении боевых действий.

Существующие подходы расчета количества резервных средств связи необходимых для обеспечения заданного уровня живучести системы связи военного формирования тактического уровня управления Вооруженных Сил Украины во время ведения боевых действий с целью обеспечения устойчивого обмена информацией в системе управления, основанные на эмпирических методах, обладающих субъективностью решений.

Предложенная модель расчета количества резервных средств связи системы связи при ведении боевых действий построена на основе марковской многоканальной системы массового обслуживания с ограниченным временем пребывания заявки в канале обслуживания и в очереди на обслуживание.

Системой массового обслуживания в работе представлено процесс восстановления средств связи в ремонтном подразделении военного формирования тактического уровня управления Вооруженных Сил Украины. На вход системы поступает поток поврежденных средств связи как в результате огневого поражения противником так и через их ограниченную техническую надежность.

Оценку необходимого количества резервных средств связи системы связи при ведении боевых действий предложено проводить сравнением имеющегося уровня живучести системы связи на соответствие заданному уровню живучести. Показатель, характеризующий уровень живучести системы связи, предложено использовать установленную величину коэффициента сохранения эффективности функционирования системы связи по уровню ее укомплектованности работоспособными средствами связи.

Предложена схема алгоритма определения количества резервных средств связи системы связи, которая обеспечит поддержание заданного уровня ее живучести за время ведения боевых действий. Использование данного алгоритма предложенной модели упростит этап проведения, и оценки результатов расчетов резервного количества средств связи.

Применение модели расчета резервных средств связи системы связи при ведении боевых действий позволит уменьшить влияние субъективного фактора, сократит время на принятие решения, предоставит

возможность определить потребность в средствах связи с учетом возможностей противника по огневому поражению средств связи, а также с учетом технической надежности средств связи.

Ключевые слова: система связи, живучесть системы связи, потери средств связи, система массового обслуживания, резерв средств связи.

S. Brigadier, A. Ishchenko, A. Minochkin, D. Pavliuk *A model for calculating the number of reserve communication means of a communication system during combat operations.*

Existing approaches to calculating the number of reserve communication means necessary to ensure a given level of survivability of the communication system of the military formation of the tactical level of control of the Armed Forces of Ukraine during the conduct of hostilities in order to ensure a stable exchange of information in the control system, based on empirical methods with subjective decisions.

The proposed model for calculating the number of reserve communication means of a communication system during combat operations is based on a Markov multichannel queuing system with a limited residence time of a request in a service channel and in a service queue.

The queuing system in the work presents the process of restoring communications in the repair unit of the military formation of the tactical level of control of the Armed Forces of Ukraine. The input of the system receives a stream of damaged communication facilities both as a result of fire engagement by the enemy and through their limited technical reliability.

It is proposed to evaluate the required number of reserve communication means of the communication system during the conduct of hostilities by comparing the existing level of survivability of the communication system for compliance with the given level of survivability. The indicator characterizing the level of survivability of the communication system, it is proposed to use the established value of the coefficient of maintaining the efficiency of the functioning of the communication system according to the level of its completeness with workable communication facilities.

The scheme of the algorithm for determining the number of reserve communication means of the communication system, which will ensure the maintenance of a given level of its survivability during the conduct of hostilities, is proposed. The use of this algorithm of the proposed model will simplify the stage of carrying out and evaluating the calculation results of the reserve number of communication facilities.

The use of the model for calculating the reserve communications of the communications system in the conduct of hostilities will reduce the influence of the subjective factor, reduce the time for making a decision, provide an opportunity to determine the need for communications, taking into account the enemy's capabilities for fire damage to communications, and also taking into account the technical reliability of communications.

Key words: communication system, survivability of communication system, loss of communication facilities, queuing system, reserve of communication facilities.

Постановка завдання. В сучасних умовах ведення бойових дій, появи нових засобів вогневого ураження, удосконалення існуючих, а також підвищення ролі забезпечення телекомунікаційними послугами системи управління, основною властивістю системи зв'язку (СЗ) стає її стійкість. Під стійкістю СЗ розуміється здатність виконувати завдання за призначенням в умовах впливу всіх вражаючих факторів [1]. Однією із характеристик стійкості СЗ є її живучість. Під живучістю СЗ розуміється здатність виконувати завдання за призначенням в умовах дії зброї противника. Основним організаційним заходом по забезпеченню живучості СЗ є резервування. Чинними нормативними документами величина резерву засобів зв'язку (ЗЗ), який необхідно мати під час ведення бойових дій не регламентується.

Для визначення необхідної кількості резервних ЗЗ СЗ під час ведення бойових дій з метою забезпечення стійкого обміну інформацією в системі управління експеримент з реальною системою провести дуже затратно і майже не можливо. Тому розроблення моделі розрахунку кількості резервних ЗЗ СЗ є актуальною науковою задачею.

Аналіз останніх публікацій. На сьогоднішній день значна кількість публікацій присвячена дослідженню процесу функціонування системи зв'язку та проведення відповідних розрахунків.

Так в [2] живучість СЗ визначається через ймовірність виживання напрямків зв'язку, вузлів зв'язку та середнього часу перерви зв'язку за допомогою методу еквівалентних топологічних перетворень. При цьому не розглядаються лінії прямого зв'язку, резервні ЗЗ. В [3] живучість СЗ визначається оцінкою імовірності блокування виклику за допомогою рівняння Ерланга. Підтримання живучості СЗ розглядається завдяки перерозподілу каналів зв'язку базових станцій, які вийшли з ладу і, не розглядається можливість заміни їх

резервними. У [4] запропоновано графові моделі на основі нестационарної ієрархічної та стаціонарної гіпермереж. В якості показника живучості розглядається величина максимального потоку в гіпермережі. Живучість СЗ оцінюється при видаленні певних вершин та ребер графа. При цьому не розглядається вплив величини резерву ЗЗ на живучість системи. В [5] система зв'язку також розглядається у вигляді графа, вершинами якого є вузли комутації, а ребра – каналами зв'язку. Живучість визначається через коефіцієнт зв'язності інформаційного напрямку, при цьому не розглядається загальна живучість системи зв'язку.

Аналіз даних робіт показує що вони дають змогу розрахувати живучість СЗ, в певній мірі розрахувати необхідну кількість резервних ЗЗ. Проте, в зазначених роботах не визначено залежність рівня живучості СЗ від кількості резервних ЗЗ під час ведення бойових дій. Дану залежність визначають за допомогою емпіричних методів, які вносять суб'єктивізм в прийняте рішення

Метою статті є розробка моделі розрахунку кількості резервних засобів зв'язку системи зв'язку під час ведення бойових дій.

Виклад основного матеріалу.

Розглянемо СЗ військового формування Збройних Сил України. Вона складається із різнотипних ЗЗ, які можна розділити на наступні групи: засоби радіозв'язку ультракороткохвильового діапазону малопотужні; засоби радіозв'язку ультракороткохвильового діапазону середньої потужності; засоби радіозв'язку короткохвильового діапазону; засоби радіорелейного зв'язку; засоби супутникового зв'язку; засоби проводового зв'язку. Дані засоби утворюють вузли, лінії між ними (інформаційні напрямки); лінії прямого зв'язку.

Система зв'язку складається із наступних підсистем: підсистема сил і засобів зв'язку, підсистема забезпечення зв'язку (ремонт, матеріально-технічне забезпечення тощо) та підсистема управління зв'язком. Як згадувалося вище вона повинна відповідати необхідному рівню живучості, тобто зберігати та вчасно відновлювати здатність виконувати завдання за призначенням. Основним заходом щодо забезпечення живучості СЗ на необхідному рівні під час ведення бойових дій є резервування. Створювати резерв ЗЗ необхідно у випадках [6-8], коли:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{N' + N_n + N_p}{N_0} < K_b \quad (1)$$

де N – наявна кількість працездатних ЗЗ на кінець ведення бойових дій; N_0 – встановлена або штатна кількість ЗЗ на початок бойових дій; N' – кількість ЗЗ, які виходили з ладу, але були відновлені; N_n – кількість ЗЗ, які не виходили з ладу; K_b – встановлена величина коефіцієнта збереження ефективності функціонування СЗ за рівнем її укомплектованості ЗЗ.

Коефіцієнт збереження ефективності функціонування СЗ за рівнем її укомплектованості ЗЗ характеризує живучість системи зв'язку.

Виходячи з цього, потрібна кількість резервних ЗЗ для підтримання необхідного рівня живучості визначається як

$$N_p = N_0 \times K_b - (N' + N_n) \quad (2)$$

При цьому часто у загальній структурі втрат ЗЗ не розглядаються втрати, які можуть виникнути внаслідок експлуатаційних відмов, хоча досвід свідчить, що середньодобовий вихід ЗЗ з ладу внаслідок зазначених причин може бути значним.

У низці джерел, зокрема у [9-12], зазначається, що витрати ресурсу ЗЗ між виникненням відмов розподіляються за законом, близьким до експоненціального. Зважаючи на це, ймовірність відмов засобу зв'язку системи зв'язку військового формування (P_b) під час ведення бойових дій, може визначатися так:

$$P_B = 1 - e^{-\frac{t}{t_0}} \quad (3)$$

де t – прогнозований наробіток зразка ОВТ протягом певного періоду; t_0 – середній наробіток зразка ОВТ між відмовами.

Тоді кількість ЗЗ, які вийшли з ладу внаслідок експлуатаційних відмов визначатиметься з наступного виразу:

$$N_T = N_0 \times P_B \quad (4)$$

Прогнозована кількість N' пошкоджених ЗЗ, які будуть відремонтовані протягом розглядуваного періоду ведення бойових дій складатиме

$$N' = M_n \times A_p, \quad (5)$$

$$M_n = N_B + N_T \quad (6)$$

де M_n – кількість пошкоджених ЗЗ, які протягом розглядуваного періоду бойових дій тривалістю T діб надійшли у ремонтний підрозділ; N_B – кількість ЗЗ, які вийшли з ладу внаслідок вогневого ураження противника; A_p – імовірність своєчасного ремонту пошкоджених ЗЗ. Для знаходження імовірності своєчасного ремонту пошкоджених ЗЗ, розглянемо СЗ як марковську багатоканальну систему масового обслуговування (СМО) з обмеженим часом перебування заявки у каналі обслуговування та у черзі на обслуговування [13]. При цьому у якості заявки на обслуговування розглядатиметься пошкоджений ЗЗ, що вимагає ремонту, а у якості каналу обслуговування – майстер ремонтного підрозділу. Поток ЗЗ які вийшли з ладу внаслідок вогневого ураження противником, через обмежену технічну надійність та надходять до ремонтного підрозділу умовно приймемо пуассонівськими.

Пошкоджені ЗЗ поділяються на наступні групи: неможливо відновити; потребують капітального ремонту; потребують середнього ремонту; потребують поточного ремонту. Ремонтний підрозділ військового формування тактичного рівня управління буде обслуговувати ЗЗ які потребують проведення поточного ремонту. Пошкоджені ЗЗ надходять до ремонтного підрозділу паралельно не залежно один від одного та обслуговуються одним майстром, взаємодопомога та взаємозамінність майстрів відсутня.

Такий підхід дозволяє врахувати випадковий характер процесу надходження заявок у СМО та їх обслуговування. При цьому також враховуватиметься і те, що у певний період часу канали обслуговування можуть бути перевантажені заявками, у інший період – недовантаженими. В середньому ж у певний момент часу кількість реально задіяних каналів обслуговування може бути меншою від їх загальної кількості.

Зауважимо, що зазначені заявки надходять у СМО із певною інтенсивністю λ , а один канал здійснює обслуговування заявок із інтенсивністю $\mu = 1/t_c$, де t_c – середній час обслуговування однієї заявки.

Процес функціонування ремонтного підрозділу має такі особливості. У разі, якщо усі канали зайняті, заявка стає у чергу та очікує, доки не звільниться один з каналів, після чого вона стає на обслуговування. Заявку може обслуговувати лише один із вільних каналів, тобто взаємодопомога між каналами відсутня. Довжина черги на обслуговування обмежується початковою кількістю ЗЗ. Час перебування заявки у черзі на обслуговування (t_n) є обмеженим у зв'язку з тим що під час ведення бойових дій значна кількість ЗЗ потребує відновлення часом до 30 відсотків, а час на ремонт залежить від бойової обстановки, від пауз між бойовими діями за які необхідно відновити якомога більше ЗЗ, тому приймемо що час перебування ЗЗ в черзі на обслуговування обмежений восьми годинами. Тоді інтенсивність залишання заявками черги на обслуговування $\nu = 1/t_n > 0$. Час перебування заявки безпосередньо у каналі обслуговування (t_q) також є обмеженим, а отже інтенсивність залишання заявками каналу обслуговування $\eta = 1/t_q > 0$. Час, протягом якого заявка може знаходитись у черзі на обслуговування та у каналі обслуговування, обмежується певним терміном, після закінчення якого заявка залишає систему без обслуговування.

Таким чином, базуючись на теоретичних положеннях, що стосуються марковських багатоканальних СМО з обмеженим часом перебування заявки у каналі обслуговування та у черзі на обслуговування, для обчислення величини ймовірності (A_p) своєчасного ремонту пошкоджених ЗЗ пропонується використовувати вирази:

$$A_p = \frac{\mu_p'}{\mu_p} \times \frac{R(n_p - 1, \alpha_p') + \frac{1}{\chi_p} \times P(n_p, \alpha_p') \times \frac{R(m_p + \delta_p, \gamma_p) - R(\delta_p, \gamma_p)}{P(\delta_p, \gamma_p)}}{R(n_p, \alpha_p') + P(n_p, \alpha_p') \times \frac{R(m_p + \delta_p, \gamma_p) - R(\delta_p, \gamma_p)}{P(\delta_p, \gamma_p)}}, \quad (7)$$

$$\alpha_p' = \frac{\lambda_p}{\mu_p'} = \frac{\lambda_p}{\mu_p + \eta_p}; \quad (8)$$

$$\mu_p' = \mu_p + \eta_p, \quad (9)$$

де P і R – функції, що описують закон розподілу Пуассона та мають такий вигляд:

$$P(x, y) = \frac{y^x}{x!} \times e^{-y}; \quad R(x, y) = \sum_{k=0}^x \frac{y^k}{k!} \times e^{-y}$$

[13, 14]; n_p – кількість каналів обслуговування

(майстрів у ремонтному підрозділі); m_p – кількість місць у черзі на обслуговування (ремонт); λ_p – інтенсивність вхідного потоку заявок або математичне очікування кількості заявок, що надходить в систему обслуговування за одиницю часу; μ_p – інтенсивність вихідного потоку заявок з обслуговування (ремонт); χ_p – середня кількість заявок, що надходить у канал

$$\chi_p = \frac{\alpha_p}{n_p} = \frac{\lambda_p}{\mu_p \times n_p}$$

обслуговування за час обслуговування ним однієї заявки (); δ_p – середня кількість циклів обслуговування заявок усіма каналами обслуговування за час, протягом якого заявки можуть знаходитись у черзі на обслуговування (ремонт)

$$\delta_p = \frac{n_p \times \mu_p'}{\nu_p} = \frac{n_p \times (\mu_p + \eta_p)}{\nu_p}; \quad \gamma_p - \text{середня кількість заявок, що надходить у систему}$$

$$\gamma_p = \frac{\lambda_p}{\nu_p}$$

обслуговування за час, протягом якого заявка може знаходитися у черзі (); η_p – інтенсивність виходу заявки із каналу обслуговування внаслідок обмеженого часу перебування її у системі в період обслуговування (ремонт).

Враховуючи особливості функціонування ремонтного підрозділу, λ_p та μ_p можуть бути визначені так:

$$\lambda_p = \frac{M_p}{T} \quad (10)$$

$$\mu_p = \frac{n' \times t_p}{H_p} \quad (11)$$

де T – тривалість бойових дій; n' – середня кількість майстрів у складі ремонтного підрозділу, чол.; t_p – середній час продуктивної роботи одного майстра ремонтного підрозділу, год/діб; H_p – середня трудомісткість ремонту ЗЗ, чол.год./люд.

Отже, сукупність виразів (1)–(11) утворює математичну модель розрахунку кількості резервних ЗЗ для підтримання заданого рівня живучості СЗ під час ведення бойових дій.

Алгоритм визначення кількості резервних засобів СЗ, який забезпечить необхідний рівень її живучості під час ведення бойових дій наведено на рисунку 1.

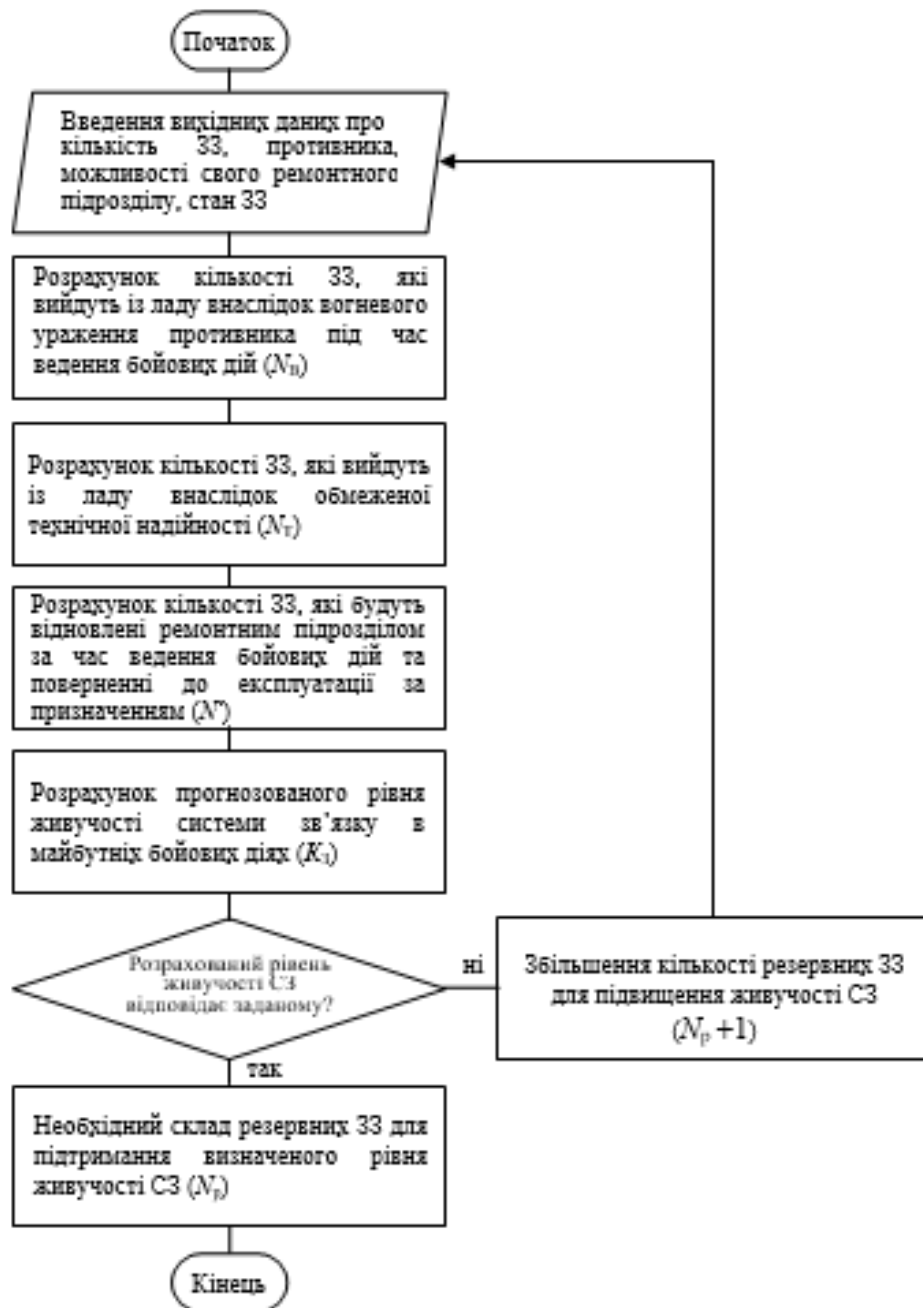


Рис. 1. Схема алгоритму визначення кількості резервних ЗЗ, для підтримання визначеного рівня живучості СЗ під час ведення бойових дій

Висновки. Запропонована модель розрахунку кількості резервних ЗЗ СЗ під час ведення бойових дій може бути використана для дослідження впливу кількості резервних ЗЗ на живучість СЗ, а також вплив кількості майстрів по ремонту ЗЗ на кількість резервних засобів та живучість системи з урахуванням вогневого впливу противника та експлуатаційних відмов ЗЗ.

Визначення необхідної кількості резервних ЗЗ для забезпечення визначеного рівня живучості СЗ може здійснюватися як під час планування застосування так і реально функціонуючої СЗ.

Подальші дослідження будуть направлені на автоматизацію даних розрахунків та розробку методики обґрунтування необхідного складу резерву ЗЗ для забезпечення заданого рівня живучості СЗ під час ведення бойових дій.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ В3265–95. „Зв’язок військовий. Термін та визначення”.
2. Масесов М.О., Бондаренко Л.О., Садикова О.І., Макаруч В.І. Методика оцінки стійкості системи військового зв’язку. Збірник наукових праць. Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. Випуск № 1. Київ: ВІТІ, 2016. с. 94 – 102.
3. Ромашкова О. Н., Дедова Е. В. Живучість беспроводных сетей связи в условиях чрезвычайных ситуаций. Технологии. Т-Comm. Випуск № 6. Київ: 2014, с. 40 – 43.
4. Додонов А. Г. Живучість информационных систем. К.: Наукова думка. 2011. 256 с.
5. Масесов М.О., Бондаренко Л.О., Єфанова К.О., Садикова О.І. Оценка живучести иерархических телекоммуникационных сетей военного назначения. Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence. № 1(31). Київ. 2018. с. 61 – 67.
6. Шуєнкін В.О. До питання оцінювання ефективності системи управління військами (силами). Київ: Наука і оборона. № 4. 2010. с. 23 – 28.
7. Павловський О.В. Визначення потрібної кількості евакуаційних та ремонтних відділень, а також величини резерву озброєння та військової техніки. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони: наук. журн. Випуск № 3 (24). К.: НУОУ. 2015. с. 166 –169.
8. Шуєнкін В.О. Теоретичні основи матеріально-технічного забезпечення військ (сил): навч. пос. К.: ЦНДІ ЗС України, 2010. 923 с.
9. Терещенко А.М. Організація експлуатації та ремонту озброєння і військової техніки. Підручник. К.: НУОУ, 2011. 348 с.
10. Половко А.М. Основы теории надежности. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
11. Половко А.М. Основы теории надежности. Практикум. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 560 с.
12. Решетов Д.Н. Надежность машин. М.: Высшая школа, 1988. 238 с.
13. Шуєнкін В.А. Прикладные модели теории массового обслуживания. К.: НМК ВО, 1992. 400 с.
14. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1988. 478 с.