

Імітаційна модель процесу відновлення засобів зв'язку в ремонтному підрозділі механізованої бригади

Олександр Іщенко^A

Received: January 18, 2020 | Revised: February 25, 2020 | Accepted: February 29, 2020

DOI: 10.33445/sds.2020.10.1.7

Анотація

У статті проаналізовано сучасний стан забезпечення обміну інформацією в системі управління механізованої бригади під час ведення нею бойових дій в антитерористичній операції, операції об'єднаних сил Збройних Сил України на сході країни. Визначено, що система зв'язку механізованої бригади має низький рівень живучості. Причиною є велика кількість втрат засобів зв'язку внаслідок вогневого ураження противника та обмеженої технічної надійності. Підтримання заданого рівня живучості системи зв'язку можливе в першу чергу за рахунок вчасного відновлення пошкоджених засобів зв'язку.

Проаналізовано існуючі моделі, за допомогою яких можна визначити прогнозовану кількість відновлених засобів зв'язку. Визначено сильні і слабкі сторони та сформульовано напрями удосконалення.

Розроблена імітаційна модель, реалізована на персональній обчислювальній машині в програмному середовищі AnyLogic 7.0.2 Professional, процесу відновлення засобів зв'язку в ремонтному підрозділі механізованої бригади, яка на відміну від існуючих, враховує інтенсивність виходу із ладу засобів зв'язку внаслідок вогневого ураження противника за періодами ведення бойових дій, засоби зв'язку, які виходять з ладу внаслідок обмеженої технічної надійності та можливості ремонтного підрозділу.

Обґрунтовано тип системи масового обслуговування, який використано для опису процесу відновлення засобів зв'язку в ремонтному підрозділі механізованої бригади. Наведено алгоритм роботи імітаційної моделі процесу відновлення засобів зв'язку в ремонтному підрозділі механізованої бригади.

Проведено розрахунок прогнозованої кількості відновлених засобів зв'язку із використанням розробленої імітаційної моделі процесу відновлення засобів зв'язку в ремонтному підрозділі механізованої бригади на гіпотетичному прикладі. Визначена залежність ймовірності обслуговування засобів зв'язку від кількості майстрів по ремонту засобів зв'язку.

Ключові слова: імітаційна модель, засоби зв'язку, живучість системи зв'язку, вогневе ураження противника, обмежена технічна надійність, ймовірність обслуговування, механізована бригада.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день підвищується швидкоплинність бойових дій (б/д) з'являються вдосконалені, принципово нові засоби ураження, що вимагає безперервного управління. Управління, як процес обміну інформацією забезпечується системою зв'язку, переважно по електронним засобам зв'язку (ЗЗ). В механізованій бригаді (мбр)

використовуються ЗЗ п'яти типів, а саме: радіостанції КХ, УКХ діапазонів; радіорелейні станції; станції супутникового зв'язку та засоби проводового зв'язку. Під час ведення б/д ЗЗ виходять з ладу в наслідок вогневого ураження противника (ВУП) та обмеженої технічної надійності (ОТН). Пошкоджені ЗЗ відновлюються в ремонтному підрозділі мбр.

^A Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, ад'юнкт, проспект Повітрофлотський, 28, м. Київ, 03049, Україна, e-mail: volgor@ukr.net. ORCID: 0000-0002-5980-1211

Від точності прогнозованих розрахунків, щодо виходу із ладу ЗЗ та їх відновлення залежить величина резерву ЗЗ, яка безпосередньо впливає на живучість системи зв'язку (СЗ). Живучість СЗ це здатність забезпечувати обмін інформацією в умовах негативного впливу факторів [1].

Як показує досвід участі Збройних Сил (ЗС) в антитерористичній операції, операції

об'єднаних сил на сході країни система зв'язку (СЗ) тактичного рівня має низький рівень живучості [2–4], що призводило до часткової, а іноді, повної втрати зв'язку, і, як наслідок втрата управління, не виконання бойового завдання. Тому новизна дослідження зазначеної тематики не викликає сумнівів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Низка досліджень та публікацій [5–8] з цього напрямку показує, що процесу відновлення ЗЗ приділялась значна увага. В основному для опису процесу відновлення ЗЗ використовувались системи масового обслуговування (СМО) з рівномірно розподіленими часовими інтервалами впливу негативних факторів. Але на практиці, інтенсивність переходів між окремими станами СЗ нестаціонарна. Тобто розподіл інтервалу часу між двома сусідніми заявками не експоненціальний. В такому випадку неможна записати ні лінійних диференціальних рівнянь для ймовірностей станів, ні лінійних алгебраїчних рівнянь для граничних ймовірностей. Математичний апарат дослідження стає більш складним, аналітичні формули для характеристик СМО не завжди вдається отримати [9]. Крім того, в існуючих моделях не враховуються ЗЗ, які виходять з ладу внаслідок обмеженої

технічної надійності, не розглядається можливість ремонтних підрозділів по відновленню всього комплексу ЗЗ мбр.

Тому в таких випадках доцільно використовувати імітаційне моделювання. Основною перевагою імітаційних методів порівняно з аналітичними є можливість вирішення більш складних завдань. Використання імітаційних моделей дозволяє враховувати зміну інтенсивності настання подій в часі, нелінійні характеристики, випадкові впливи та ін. Основним засобом реалізації імітаційного моделювання служить електронно-обчислювальна техніка, що дає змогу здійснювати цифрове моделювання систем і сигналів.

Таким чином, в сучасних умовах розвитку ЗС України, дослідження питань розроблення імітаційної моделі процесу відновлення ЗЗ є актуальним та своєчасним.

Постановка завдання

Метою статті є розроблення імітаційної моделі процесу відновлення ЗЗ в ремонтному підрозділі мбр, яка на відміну від існуючих, враховуватиме інтенсивність виходу із ладу

ЗЗ внаслідок ВУП за періодами ведення б/д, ЗЗ, які виходять з ладу внаслідок ОТН та можливості ремонтного підрозділу.

Виклад основного матеріалу

Процес відновлення ЗЗ в ремонтному підрозділі можливо представити як систему з такими етапами виконання завдань: прийом пошкоджених ЗЗ (черга на обслуговування), їх розподіл по майстрам (канали обслуговування); проведення ремонту ЗЗ

(обслуговування); повернення ЗЗ у відновленому стані. Тому дану систему можна розглядати як СМО [10].

В реальних умовах роботи ремонтного підрозділу пошкоджений ЗЗ, у випадку зайнятості всіх майстрів, може бути

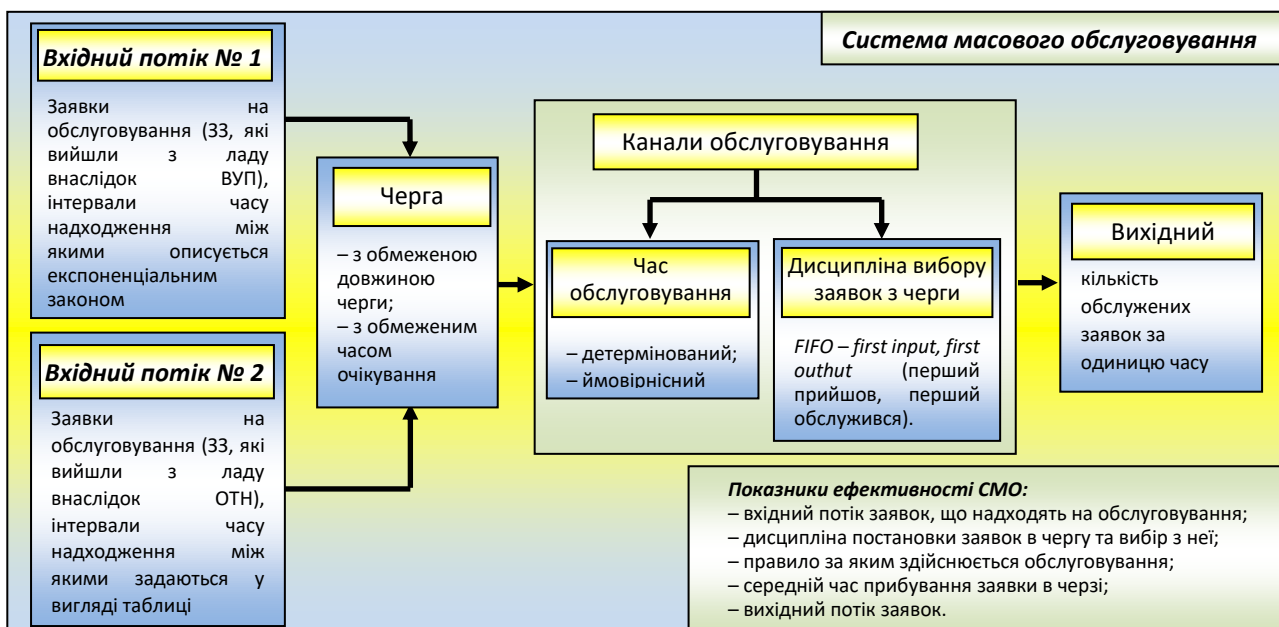
поставлений у чергу на ремонт тому для опису процесу відновлення 33 в ремонтному підрозділі *мбр* обрано СМО з очікуванням [13]. У загальному випадку в системах з очікуванням кількість місць у черзі може бути обмеженою або необмеженою. Застосування систем із необмеженою кількістю місць у черзі для моделювання роботи ремонтного підрозділу *мбр* неприйнятне, так як входить в протиріччя з фізичними можливостями розміщення пошкоджених 33, тому мають застосовуватися системи з обмеженою кількістю місць у черзі. У таких СМО заявка, яка надійшла в момент, коли всі канали обслуговування і місця в черзі зайняті, отримує відмову і залишає систему.

Час перебування пошкодженого 33 у черзі може бути обмеженим або необмеженим. У зв'язку із тим що за добу ведення б/д суттєво змінюється обстановка змінюються і потреби

в додаткових 33, тому час очікування в черзі при моделюванні процесу відновлення пошкоджених 33 повинен бути обмеженим. Як показує практика час очікування 33 ремонту не повинен перевищувати однієї доби.

Відновлюються 33 кожного типу своїми майстрами (каналами обслуговування) пріоритету між 33 одного типу та між типами немає. Тому для моделювання процесу відновлення 33 в ремонтному підрозділі *мбр* обирається дисципліна FIFO (*first input, first outhut*) першим прийшов – першим обслужений.

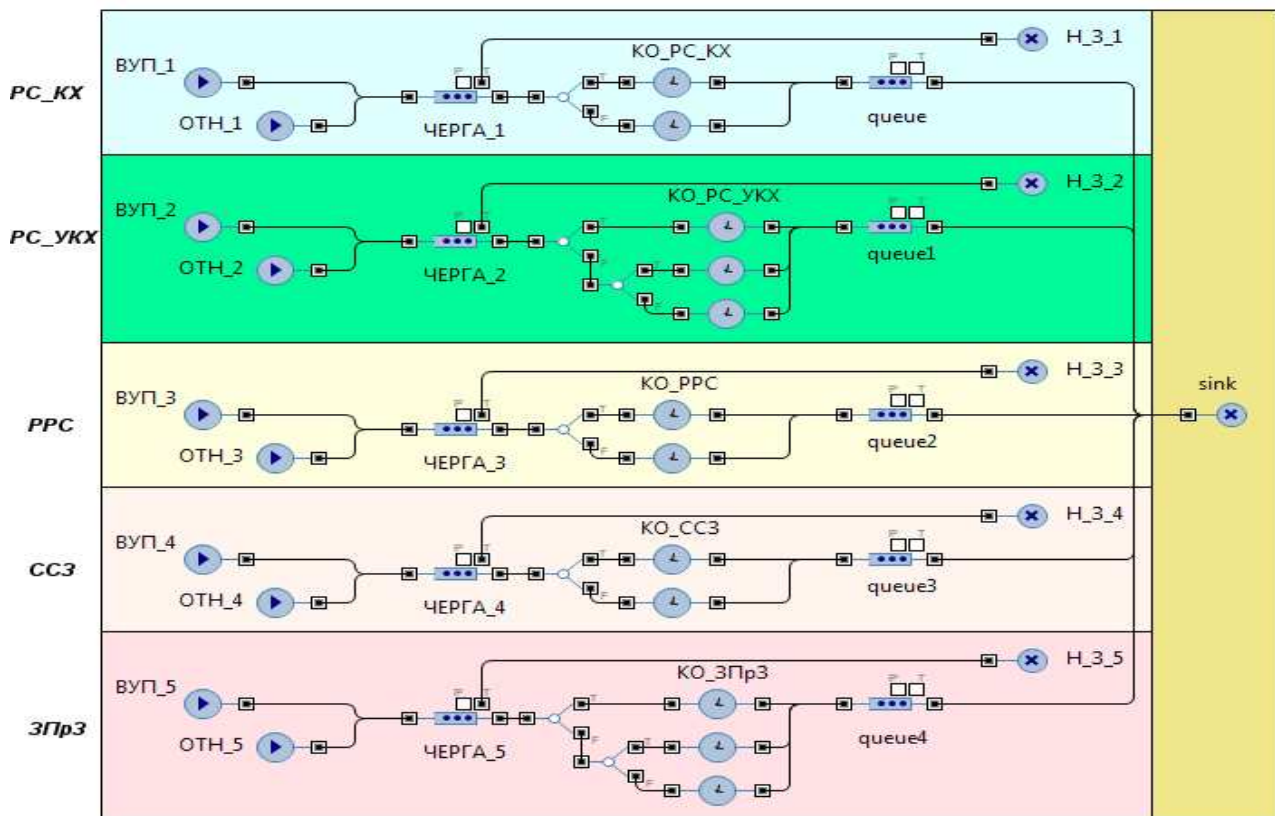
Схематичне представлення процесу відновлення 33 в ремонтному підрозділі *мбр*, як СМО зображена на мал.1. Викладене вище, являється фундаментом для розроблення імітаційної моделі процесу відновлення 33 в ремонтному підрозділі *мбр*.



Мал. 1. – Схема представлення процесу відновлення 33 в ремонтному підрозділі *мбр*, як СМО

Побудуємо імітаційну модель процесу відновлення 33 в програмному середовищі *AnyLogic 7.0.2 Professional* за допомогою

набору інструментів зосереджених в Бібліотеці моделювання процесів мал. 2 [12].



Мал. 2. – Імітаційна модель процесу відновлення 33 під час ведення б/д мбр

Дано характеристику об'єктів імітаційної моделі.

▶ – об'єкт ВУП_1....5 генерує заявки на обслуговування (кількість пошкоджених 33, які вийшли з ладу внаслідок ВУП) зі своєю інтенсивністю для кожного періоду ведення б/д мбр.

▶ – об'єкт ОТН_1....5 генерує заявки на обслуговування (кількість пошкоджених 33, які вийшли з ладу внаслідок ОТН) з заданою інтенсивністю.

◻ – об'єкт Черга_1....5 імітує чергу заявок на обслуговування.

⊗ – об'єкт Н_3_1....5 формує статистичні дані, щодо заявок які отримали відмову та покинули чергу на обслуговування.

⊗ – об'єкт Sink формує статистичні дані, щодо кількості обслугованих 33.

◻ – об'єкт в якому проводиться розподіл заявок по вільним каналам обслуговування. Засоби зв'язку, які надійшли на обслуговування поступають до вільного

майстра по черзі без пріоритету на обслуговування.

⬇ – об'єкт КО_ПC_KX; КО_ПC_UKX; КО_ПC; КО_СС3; КО_ЗПрЗ імітує роботу каналів обслуговування пошкоджених 33 кожного типу. Час ремонту пошкоджених 33 майстрами випадковий і залежить від типу 33, та не залежить від того, який майстер ремонтує даний 33. Інтервали часу між відмовами 33 випадкові.

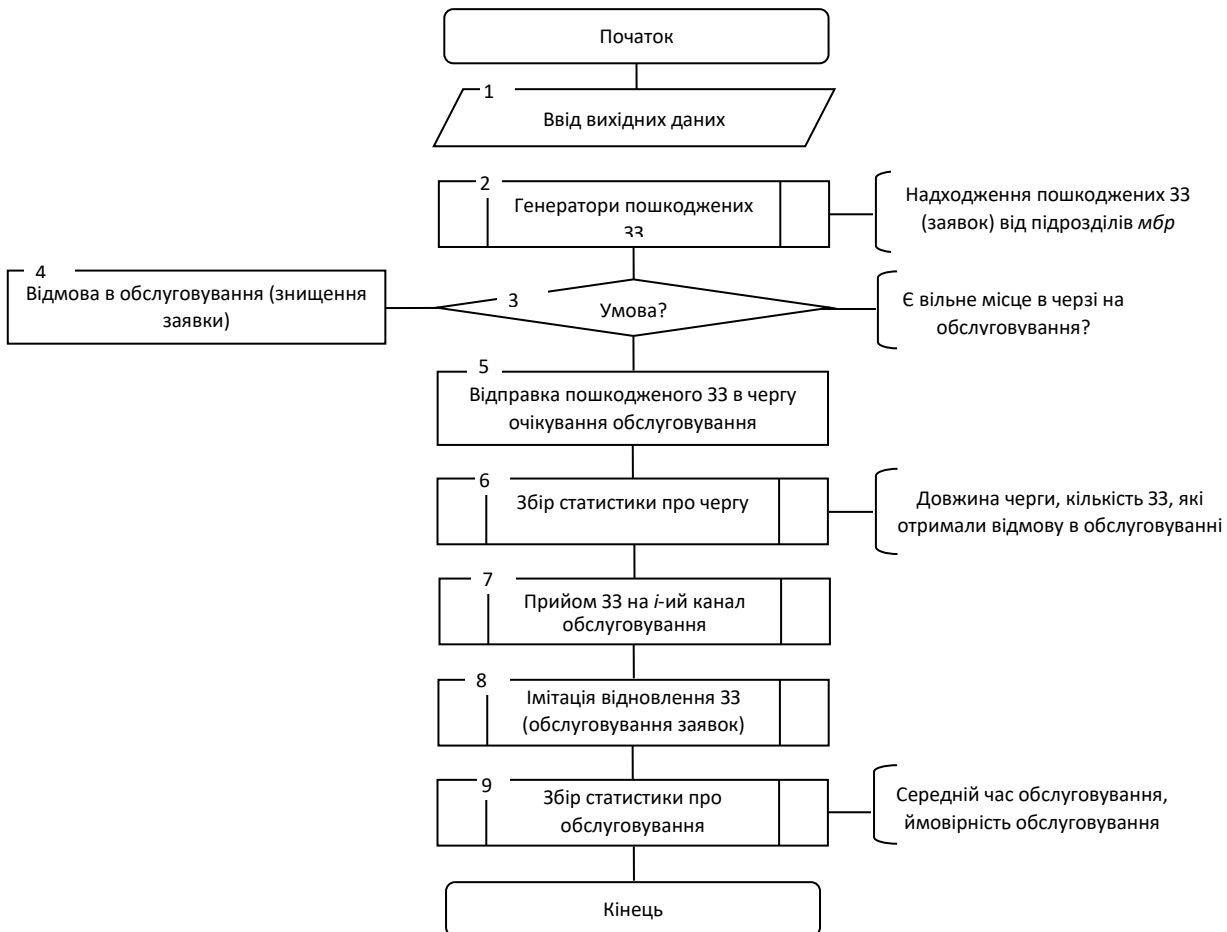
На мал.3 представлений алгоритм роботи імітаційної моделі процесу відновлення 33 в ремонтному підрозділі мбр.

Під час формування вихідних даних проводиться розрахунок втрат 33 внаслідок ВУП. Спочатку розраховуються середньодобові безповоротні втрати (β), вихід у ремонт (капітальний, середній, поточний) 33 [13, 14]:

$$\beta = \beta_0 \cdot K_{\phi} \cdot K_{\text{ОТВ}} \cdot K_{\text{УК}} \quad (1)$$

де β_0 – норми середньодобових безповоротних втрат, що очікуються, виходу у

ремонт (капітальний, середній, поточний) 33; важливості *мбр*; $K_{ук}$ – коефіцієнт, який враховує укомплектованість *мбр*.
 K_{ϕ} – коефіцієнт форми застосування *мбр*; $K_{отв}$ – коефіцієнт оперативної-тактичної



Мал.3. – Алгоритм роботи імітаційної моделі процесу відновлення 33 в ремонтному підрозділі *мбр*

Розрахунок кількості безповоротних втрат (N), виходу у ремонт (капітальний, середній, поточний) проводиться за формулою:

$$N = \frac{n \cdot \beta \cdot T}{100} \quad (2)$$

де n – кількість 33 на початок ведення б/д *мбр*; T – час ведення б/д *мбр* (припустимо що *мбр* веде оборонний бій протягом 5 діб).

За результатами аналізу виходу із ладу 33 внаслідок вогневого ураження противника під час застосування *мбр* в ході проведення АТО та ООС на сході країни з 2014 по 2019 рік визначена прогнозована залежність кількості

виходу із ладу 33 внаслідок вогневого ураження противника за періодами ведення оборонного бою *мбр* табл. 1.

Для розрахунку втрат 33 внаслідок ОТН використовуємо експоненціальний закон розподілу напрацювання до відмови [15].

$$P_g = 1 - e^{-\lambda \cdot t}, \quad (3)$$

де t – прогнозований наробіток 33 протягом певного періоду; λ – інтенсивність збоїв 33 $\lambda = 1/T_0$, T_0 – середній наробіток 33 між відмовами.

Таблиця 1 – Прогнозована кількість ЗЗ, які вийдуть внаслідок ВУП за періодами ведення оборонного бою мбр

№ п/п	Назва засобів зв'язку	Втрати засобів зв'язку по характерним періодам ведення оборонного бою мбр (%)				
		перший період (до 1/2 доби)	другий період (до 3/2 доби)	третій період (до 1/2 доби)	четвертий період (до 3/2 доби)	п'ятий період (до 1 доби)
1	Радіостанції УКХ діапазону	до 8	до 16	до 6	до 10	до 5
2	Радіостанції КХ діапазону	до 4	до 10	до 5	до 8	до 4
3	Станції радіорелейні зв'язку	-	-	-	до 35	до 18
4	Станції супутникового зв'язку	до 5	до 30	до 10	до 20	до 8
5	Засоби проводового зв'язку	-	-	-	до 30	до 15

Проведемо розрахунок кількості на гіпотетичному прикладі. Використовуючи відновлених ЗЗ із використанням вирази (1-3) находимо кількість ЗЗ які розробленої імітаційної моделі процесу прогнозовано вийдуть із ладу внаслідок ВУП відновлення ЗЗ в ремонтному підрозділі мбр та ОТН табл.2.

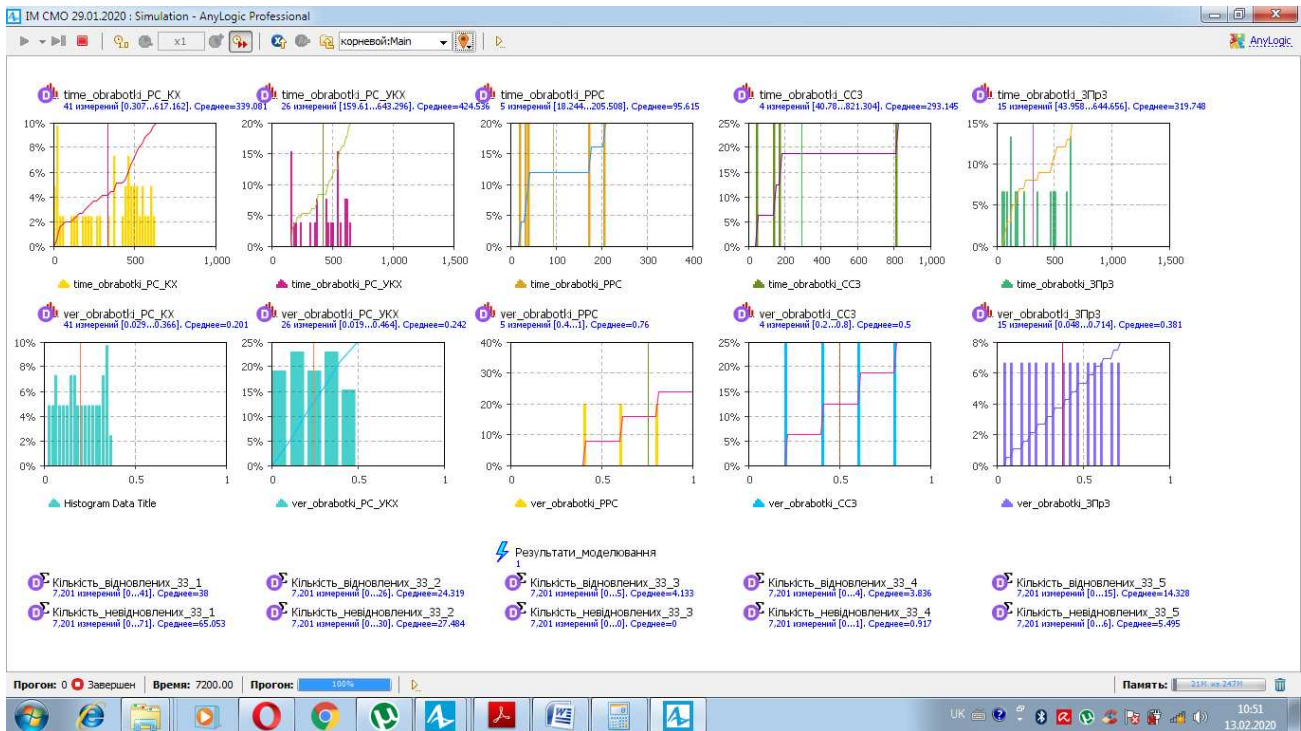
Таблиця 2 – Вихідні дані для проведення імітаційного моделювання процесу відновлення ЗЗ

№ п/п	Назва техніки зв'язку (типи ЗЗ)	Початкова кількість N	Напрацювання на відмову T_0 (год)	Середній час ремонту ЗЗ (хв)	Кількість ЗЗ, які вийдуть з ладу внаслідок ВУП	Кількість ЗЗ, які вийдуть з ладу внаслідок ОТН
1	Радіостанції КХ діапазону	500	10000	40	50	6
2	Радіостанції УКХ діапазону	1000	10000	30	100	12
3	Станції радіорелейного зв'язку	10	10000	100	4	1
4	Станції супутникового зв'язку	10	10000	200	4	1
5	Засоби проводового зв'язку	100	10000	60	20	2

Результати моделювання процесу відновлення ЗЗ в ремонтному підрозділі мбр наведені на мал 4.

Ймовірність обслуговування ЗЗ першого типу складає – 0,37, другого – 0,47, третього –

1, четвертого – 0,8, п'ятого – 0,71. Ймовірність обслуговування ЗЗ першого та другого типу менша за 0,5, що не задовольняє вимоги стосовно обслуговування.



Мал.4. – Результати моделювання процесу відновлення 33 в ремонтному підрозділі мбр

Тому проведемо експеримент з імітаційною моделлю з метою підвищення ймовірності обслуговування даних типів 33. Ми можемо підвищити ймовірність обслуговування завдяки зменшенню часу на обслуговування, зменшення кількості 33, які потребують відновлення, а також збільшивши кількість майстрів по ремонту 33. Так, як на кількість 33 які потребують відновлення ми не можемо по впливати, а також зменшення часу на обслуговування теж

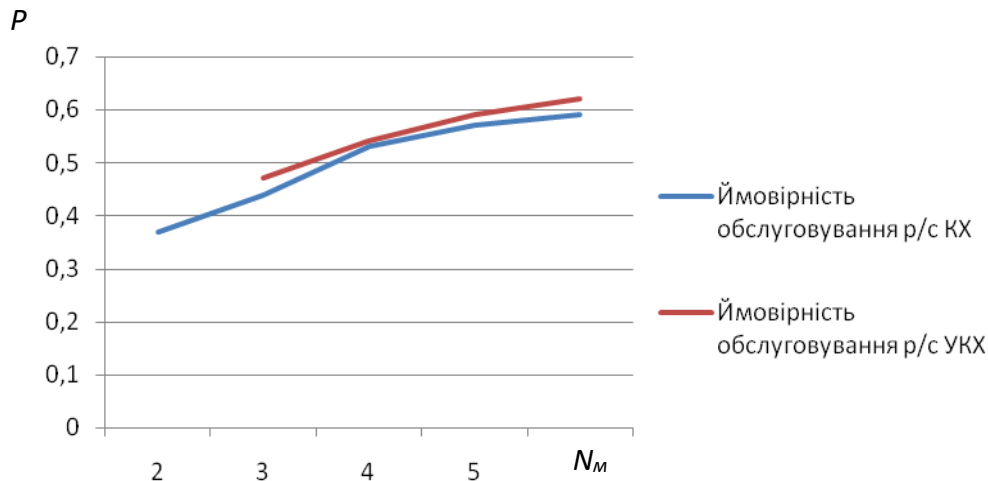
неможливе у зв'язку із встановленими нормами на виконання певних робіт то залишається збільшити кількість майстрів по ремонту 33. Скільки необхідно додати майстрів по ремонту визначимо за допомогою проведення експерименту на імітаційній моделі процесу відновлення 33 в ремонтному підрозділі мбр. Результати проведення експерименту приведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати проведення експерименту на імітаційній моделі процесу відновлення 33 в ремонтному підрозділі мбр

№ п/п	Кількість майстрів по ремонту 33 (N_m)	Початкова кількість N	Кількість 33, які вийдуть з ладу внаслідок ВУП	Кількість 33, які вийдуть з ладу внаслідок ОТН	Ймовірність обслуговування (P)	
					р/с КХ	р/с УКХ
1	Два майстри по ремонту	500	50	6	0,37	
2	Три майстри по ремонту	1000	100	12	0,44	0,47
3	Чотири майстри по ремонту	10	4	1	0,53	0,54

4	П'ять майстрів по ремонту	10	4	1	0,57	0,59
5	Шість майстрів по ремонту	100	20	2	0,59	0,62

На малюнку 3 зображена залежність ймовірності обслуговування ЗЗ першого та другого типу від кількості майстрів по ремонту.



Мал.5. – Залежність ймовірності обслуговування від кількості майстрів по ремонту ЗЗ

Висновки

Таким чином розроблена імітаційна модель процесу відновлення ЗЗ в ремонтному підрозділі мбр дає можливість визначити прогнозовану кількість відремонтованих ЗЗ кожного з типів, що стоять на озброєнні бригади з врахуванням не стаціонарності надходження пошкоджених ЗЗ внаслідок вогневого ураження противника, ЗЗ які вийдуть внаслідок обмеженої технічної надійності та можливостей ремонтного підрозділу. Крім

того, модель дає можливість, за допомогою проведення експериментів, визначити залежність ймовірності обслуговування ЗЗ від кількості майстрів.

Подальшим напрямком досліджень є розроблення на основі використання розробленої імітаційної моделі процесу відновлення ЗЗ в ремонтному підрозділі мбр рекомендацій, щодо необхідного складу резерву ЗЗ мбр для забезпечення заданого рівня живучості системи зв'язку.

Список використаних джерел

1. ДСТУ В3265–95. "Зв'язок військовий. Терміни та визначення".
2. Біла книга 2017. Збройні Сили України: щорічник / МО України. Київ: МО України, 2017. 113 с.
3. Климович О. К. Застосування сучасних систем і комплексів зв'язку та автоматизації для потреб збройних Сил України під час антитерористичної операції. *Зв'язок, радіотехніка, радіолокація, акустика та навігація*. Київ, 2015. № 2 (43). С. 23-27.
4. Лаврут О.О., Климович М.Л., Тарасюк О.Л. Стан та перспективи застосування сучасних технологій та засобів радіозв'язку в ЗС України. *Системи озброєння і військова техніка*. 2017. №1(49). С.42-49.
5. Масесов М.О., Бондаренко Л.О., Єфанова, Садикова О.І. К.О. Оценка живучести

- иерархических телекоммуникационных сетей военного назначения. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*. 2018. № 1(31). С. 61–67.
6. Ромашкова О. Н., Дедова Е. В. Живучесть беспроводных сетей связи в условиях чрезвычайных ситуаций. *Технологии. Т-Comm*. 2014. № 6. С. 40–43
7. Шуєнкін В.О. До питання оцінювання ефективності системи управління військами (силами). *Наука і оборона*, 2010. № 4. С. 23–28.
8. Додонов А. Г., Ландэ Д. В. Живучесть информационных систем: Киев: Наукова думка, 2011. 256 с.
9. Вентцель Е. С. Исследование операций. Москва: Издательство «Советское радио». 1972. 551 с.
10. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. Боговик А.В., Игнатов В.В. – СПб.: ВАС. 2006.
11. Шуєнкін В.О. До питання оцінювання ефективності системи управління військами (силами). *Наука і оборона*, 2010. № 4. С. 23–28.
12. Боев В. Д. Компьютерное моделирование. Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic 7. Санкт-Петербург: Военная академия связи, 2014. 432 с.
13. Павловський О. В., Прогнозування величини втрат озброєння та військової техніки під час операції. *Системи озброєння і військової техніки*. 2015. № 4 (44). С. 116–118.
14. Бобрун О.В. Удосконалена методика визначення прогнозованих санітарних та безповоротних втрат особового складу інженерних військ Збройних Сил України. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. № 1 (25). Київ. 2016. С. 5–7.
15. Козлов Б. А., Ушаков И. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. Москва: Сов. радио, 1975. 472 с.

Имитационная модель процессу восстановления средств связи в ремонтном подразделении механизированной бригады

Александр Ищенко*

Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, ад'юнкт,
пр-кт Воздухофлотский, 28, г. Киев, 03049, Украина,
e-mail: lord0779@ukr.net

Аннотация

В статье проанализировано современное состояние обеспечения обмена информацией в системе управления механизированной бригады при ведении ею боевых действий в антитеррористической операции, операции объединенных сил Вооруженных Сил Украины на востоке страны. Определено, что система связи механизированной бригады имеет низкий уровень живучести. Причиной является большое количество потерь средств связи в результате огневого поражения противника и ограниченной технической надежности. Поддержание заданного уровня живучести системы связи возможно в первую очередь за счет своевременного восстановления поврежденных средств связи.

Проанализированы существующие модели, с помощью которых можно определить прогнозируемое количество восстановленных средств связи. Определены сильные и слабые стороны и сформулированы направления совершенствования.

Разработанная имитационная модель, реализованная на персональной вычислительной машине в программной среде AnyLogic 7.0.2 Professional, процесса восстановления средств связи в ремонтном подразделении механизированной бригады, которая в отличие от существующих, учитывает интенсивность выхода из строя средств связи в результате огневого поражения противника за периодами ведения боевых действий, а также средства связи, которые выходят из

строю вследствие ограниченной технической надежности и возможности ремонтного подразделения.

Обоснованно тип системы массового обслуживания, который используется для описания процесса восстановления средств связи в ремонтном подразделении механизированной бригады. Приведен алгоритм работы имитационной модели процесса восстановления средств связи в ремонтном подразделении механизированной бригады.

Проведен расчет прогнозируемого количества восстановленных средств связи с использованием разработанной имитационной модели процесса восстановления средств связи в ремонтном подразделении механизированной бригады на гипотетическом примере. Определенная зависимость вероятности обслуживания средств связи от количества мастеров по ремонту средств связи.

Ключевые слова: имитационная модель, средства связи, живучесть системы связи, огневое поражение противника, ограниченная техническая надежность, вероятность обслуживания, механизированная бригада.

Simulation model of the communication repair process in the mechanized brigade repair unit

Alexander Ishchenko

*Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Doctoral,
28, Pofitroflotsky Avenue, Kyiv-049, 03049, Ukraine,
e-mail: lord0779@ukr.net*

Abstract

The article analyzes the current state of information exchange in the control system of a mechanized brigade during its combat operations in the anti-terrorist operation, the operation of the combined forces of the Armed Forces of Ukraine in the east of the country. It is determined that the mechanized crew communication system has a low level of survivability. The cause is a large amount of communication damage due to enemy fire damage and limited technical reliability. Maintaining a given level of survivability of the communication system is possible primarily through the timely restoration of damaged communications.

Existing models that can be used to determine the estimated number of recovered communications tools are analyzed. Strengths and weaknesses are identified and directions of improvement are formulated.

A simulation model developed on a personal computer in the AnyLogic 7.0.2 Professional software environment, the process of repairing communications in the repair unit of a mechanized team, which, unlike existing ones, takes into account the intensity of communication failure due to enemy fire damage combat periods, as well as communication tools that fail due to limited technical reliability.

The type of queuing system used to describe the recovery process of communications in the mechanized repair unit is justified. The algorithm of work of simulation model of process of communication means restoration in repair unit of mechanized crew is given.

Let's calculate the number of recovered communications using a simulation model of the communication recovery process in a mechanized brigade repair unit using a hypothetical example. The dependence of the likelihood of communication services on the number of communication repair masters has been determined.

Keywords: simulation model, communication tools, communication system survivability, enemy fire damage, limited technical reliability, service probability, mechanized crew.

References

1. DSTU B3265-95. "Communication is military. Terms and definitions".
2. White Paper 2017. Armed Forces of Ukraine: Annual / MoD of Ukraine. Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine, 2017. 113 p.

3. Klimovich O.K. Application of modern systems and complexes of communication and automation for the needs of the Armed Forces of Ukraine during the anti-terrorist operation. *Communication, radio engineering, radar, acoustics and navigation*. Kyiv, 2015. No. 2 (43). pp. 23-27.
4. Lavrut O.O., Klimovich M.L., Tarasyuk O.L. Status and prospects of the use of modern technologies and means of radio communication in the Armed Forces of Ukraine. *Weapons systems and military equipment*. 2017. №1 (49). P.42-49.
5. Masesov M.O., Bondarenko L.O., Yefanov O.I., Sadikova K.O. Evaluation of the survivability of hierarchical military telecommunications networks. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defense*. 2018. No. 1 (31). pp. 61–67.
6. Romashkova O.N., Dedova E. V. The survivability of wireless communication networks in emergency situations. *Technologies. T-Comm*. 2014. № 6. S. 40–43
7. Shuenkin V.O. The question of assessing the effectiveness of the system of command of troops (forces). Kyiv: *Science and Defense*, 2010. № 4. pp. 23-28.
8. Dodonov A.G., Lande D.V. The survivability of information systems: Kyiv: *Naukova Dumka*, 2011. 256 p.
9. Wentzel E.S. Research of operations. Moscow: *Soviet Radio Publishers*. 1972. 551p.
10. The effectiveness of military communication systems and methods of its evaluation. Bogovik AV, Ignatov VV / St. Petersburg: YOU. 2006.
11. Shuenkin V.O. The question of assessing the effectiveness of the system of command of troops (forces). Kyiv: *Science and Defense*, 2010. № 4. pp. 23-28.
12. Boev V.D. Computer simulation. Practical, course and graduate design tutorial in AnyLogic 7. St. Petersburg: Military Communications Academy, 2014. 432 p.
13. Pavlovsky O.V., Prediction of the magnitude of losses of weapons and military equipment during the operation. *Systems of weapons and military equipment*. 2015. № 4 (44). P. 116–118.
14. Bobrun O.V. The technique of determining the predicted sanitary and irreversible losses of personnel of the engineering forces of the Armed Forces of Ukraine has been improved. Modern information technologies in the field of security and defense № 1 (25). Kyiv. 2016, pp. 5-7.
15. Kozlov B.A., Ushakov I.A. Handbook of calculating the reliability of radio electronics and automation equipment. Moscow: Owl. Radio, 1975. 472 p.