

РОЗРОБЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ОВТ

УДК: 621.39

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.26.2022.3-12>Б.Ю. Волочий¹, А.О. Кушик², Ю.П. Сальник¹, В.А. Онищенко¹, П.І. Казан¹¹ Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів² Національний університет «Львівська політехніка», Львів

Article history: Received 27 March 2022; Revised 2 May 2022; Accepted 2 May 2022

МЕТОД УСУНЕННЯ НАДМІРНОЇ ЗАТРИМКИ ПАКЕТІВ У ВУЗЛІ КОМУТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В УМОВАХ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Для інформаційної мережі зв'язку спеціального призначення зі швидким і повільним потоками пакетів є критичною надмірна затримка пакетів у вузлах комутації для повільного потоку. Запропонований метод усунення надмірної затримки передбачає формування у вузлі комутації двох черг пакетів. Виведення пакетів на обслуговування з двох черг пакетів здійснюється за допомогою нової адаптивної процедури. Проведено порівняльне дослідження варіантів реалізації адаптивної процедури. Запропонований метод усунення надмірної затримки пакетів у вузлі комутації забезпечує підвищення ефективності функціонування інформаційної мережі зв'язку спеціального призначення в цілому.

Ключові слова: вузол комутації, інформаційна мережа зв'язку спеціального призначення, ймовірність втрати пакетів, адаптивне виведення пакетів на обслуговування.

Постановка проблеми

Майже всі об'єкти противника, які необхідно виявити для ураження вогневими засобами, обладнані на рухомій базі (більше 95%). Під час руху по місцевості такі об'єкти стають джерелом сейсмічного, акустичного, магнітного, інфрачервоного чи іншого сигналу, який може бути прийнятий відповідним датчиком сигналізаційної системи (СС).

Щоб своєчасно викрити пересування противника і забезпечити ураження цілей, усі маршрути й напрямки його переміщення повинні контролюватися розвідувально-сигналізаційними комплексами (РСК). Тому розгортання кількох РСК на місцевості здійснюється залежно від імовірного характеру дій противника в межах зон оглядової і детальної розвідки в призначених районах особливої уваги та на інших ймовірних маршрутах пересування його рухомих об'єктів [1-4].

Від кожного РСК, що встановлюються на кожній контрольованій ділянці місцевості, в інформаційну мережу зв'язку спеціального призначення передається потік пакетів. Так як район бойових дій контролюється за допомогою кількох РСК, потоки пакетів входять від них в інформаційну мережу зв'язку спеціального призначення через вузол комутації (ВК).

Через те, що активність противника на різних контрольованих ділянках може бути різною, інтенсивність потоків пакетів від різних РСК теж буде різною. У цій статті будемо розрізняти наявність двох потоків пакетів: швидкого і повільного.

Якщо в інформаційній мережі зв'язку спеціального призначення використовувати ВК зі спільною чергою пакетів для обох потоків, то середнє значення затримки пакетів повільного потоку буде суттєво переважати середнє значення затримки пакетів швидкого потоку. Це є недопустимим, урахувавши швидкість пересування рухомих об'єктів противника через контрольовані ділянки. Надмірна затримка пакетів у вузлі комутації призводить до втрати актуальності повідомлень, що були передані.

Вирішення проблеми надмірної затримки пакетів повільного потоку у вузлі комутації можливе з використанням адаптивної процедури обслуговування пакетів обох потоків.

Технічне рішення адаптивної процедури бачиться шляхом формування окремих черг для кожного потоку (кожного РСК) і пошуку правила вибору черги, з якої пакет буде передаватися на обслуговування після завершення обслуговування попереднього пакета.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Передавання пакетів від СС до користувачів інформації К1 і К2 (командування і засоби ураження) може здійснюватися як безпосередньо, так і через ретранслятори. Основною умовою для успішного передавання/приймання інформації є наявність радіозв'язності між сигналізаційними системами і РСК, між РСК і вузлом комутації. Функціонування ВК залежить від глибини збору інформації, відстані (площі за наявності системи позиціонування), які задаються кількістю ретрансляційних ділянок з сигналізаційними системами [5, 6].

Основними причинами втрати зв'язку між сигналізаційними системами і ВК можуть бути:

- знищення або вихід із ладу сигналізаційної системи, приймача РСК, проміжного ретранслятора або самого ВК;
- вихід із ладу елементів живлення сигналізаційних систем або ВК;
- вихід РСК або ВК за межі зони взаємодії (радіовидимості).

Останні дві причини залежать від потужності, з якою здійснюється передавання пакетів з інформацією від сигналізаційних систем. Збільшення потужності передавання сигналів призводить до збільшення ймовірності успішного приймання пакетів. Проте вимагає більшої витрати енергії батареї і створює високий рівень взаємних завад [5, 6].

Проблема проходження інформації від засобів виявлення противника до засобів ураження через ВК, які функціонують в реальному масштабі часу без втрати пакетів, потребує постійного вирішення. Її актуальність визначається неприпустимістю безконтрольних дій противником, необхідністю своєчасного прийняття рішення відповідно до обстановки, що склалася, та досягненням максимального ураження об'єктів противника, що, в свою чергу, дозволяє досягти основної мети бою [7]. Але збір інформації з великого простору породжує збільшення інтенсивності потоку пакетів на вході вузла комутації інформаційної мережі зв'язку, що є однією з причин великої черги пакетів і відповідно їх втрати у ВК [8]. Крім цього, існує ще одна проблема: на скільки (до якого значення) можливо допустити затримку і втрату інформаційних пакетів у ВК і при цьому забезпечити ефективне ураження цілей противника?

Аналіз функціональної поведінки вузлів комутації ВК ІМЗСП свідчить, що їх основною особливістю і ключовим недоліком є проблема втрати пакетів.

Першою причиною втрати пакетів є їх надмірна затримка. Якщо затримка втрати пакета у ВК перевищує допустиме значення, то цей пакет не передається у наступний вузол, а вилучається [9]. Другою причиною

втрати пакетів є відсутність місць в буферному запам'ятовувальному пристрої на момент їх надходження. Іншими причинами можуть бути надходження пакетів під час перезавантаження системи, використання ручних налаштувань, які знижують оперативність перезавантаження інтерфейсу, а також відсутність узгодженості в роботі з іншими механізмами управління чергами тощо [10-15]. Крім того, причиною надмірної затримки та втрати пакетів є використання евристичних схем і недосконалих алгоритмів (процедур) обслуговування черг, перезавантаження вузлів комутації [16, 17].

Структурно-функціональна схема вузла комутації з відомим принципом його побудови показана на рисунку 1. У вузол комутації інформаційної мережі зв'язку спеціального призначення від РСК, сигналізаційні системи яких встановлені в контрольованих зонах К31 і К32, через формувач вхідного потоку пакетів (ФВП), приходять пакети двох інформаційних потоків: швидкого і повільного. Інтенсивності їх надходження відрізняються вдвічі і більше. Пакети цих потоків у порядку надходження формують спільну чергу пакетів на обслуговування в буферному запам'ятовувальному пристрої (БЗП). Черга формується в порядку надходження пакетів. Тому між сусідніми пакетами потоку з малою інтенсивністю знаходиться певна кількість пакетів швидкого потоку. Система обслуговування пакетів (СОП) обслуговує пакети у порядку черги, і тоді кожний пакет повільного потоку має час затримки, який визначається тривалістю обслуговування кожного пакета та кількістю пакетів, що знаходяться в черзі перед ним. Тривалість обслуговування кожного пакета в системі обслуговування пакетів є випадковою величиною.

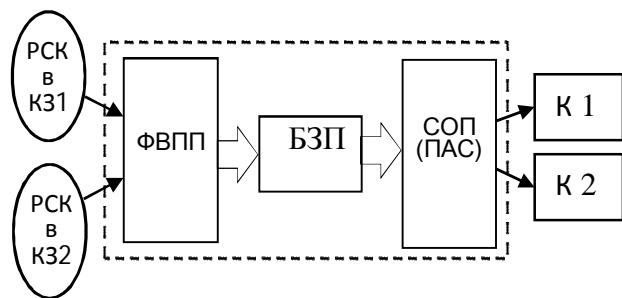


Рис. 1. Структурно-функціональна схема вузла комутації інформаційної мережі зв'язку спеціального призначення

В якості показників ефективності такого ВК використано: «ймовірність втрати пакетів через надмірну затримку» для повільного потоку і «ймовірність втрати пакетів через відсутність місць в БЗП» для швидкого потоку.

Для ІМЗСП з комутацією пакетів є важливим недопущення надмірної затримки пакетів у ВК. У

вузлі комутації, куди приходять пакети двох інформаційних потоків, втрати пакетів повільного потоку через надмірну затримку будуть суттєво перевищувати втрати пакетів швидкого потоку [18-20]. На рисунку 2 представлено розраховані авторами залежності ймовірностей втрати пакетів швидкого і повільного потоків для різних співвідношень між їх інтенсивностями. Діаграмами з точковими значеннями у вигляді ромбів показані ймовірності втрати пакетів швидкого потоку через відсутність місць у БЗП1. А діаграмами з точковими значеннями у вигляді квадратів – ймовірності втрати пакетів повільного потоку через надмірну затримку в БЗП2.

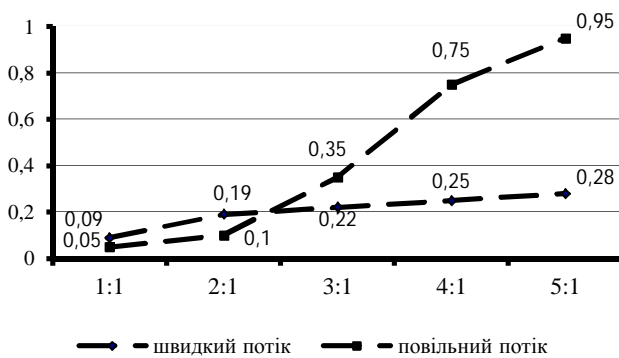


Рис. 2. Залежності ймовірностей втрати пакетів швидкого і повільного потоків ($P_{вт}$) для різних співвідношень між їх інтенсивностями ($I_{ш} : I_{п}$)

Рішення щодо усунення даної проблеми постійно вдосконалюються [21-23], а запропонований метод усунення надмірної затримки пакетів у вузлі комутації ІМЗСП робить цю роботу актуальною та визначає її мету.

Формування мети статті

Метою статті є розроблення стохастичної моделі експлуатаційної функціональної поведінки вузла комутації з запропонованим методом усунення надмірної затримки пакетів повільного потоку і порівняння ефективності цього методу в двох варіантах його реалізації.

Виклад основного матеріалу

Суть запропонованого методу полягає в тому, що пакети швидкого і повільного потоків записуються окремо у БЗП1 і БЗП2. В структуру ВК введено адаптивний перемикач, призначений для виведення пакетів із БЗП на обслуговування в СОП. При виборі БЗП для виведення пакета адаптивний перемикач керується таким параметром, як кількість заявок на обслуговування від БЗП1 і БЗП2. Реалізацію цього методу ілюструє структурно-функціональна схема ВК, представлена на рисунку 3.

Метод передбачає, що кількість реальних заявок на обслуговування від БЗП1 у формувачі заявок ФЗ1 визначає кількість пакетів, які знаходяться в його черзі.

Кількість заявок, які формуються від черги пакетів у БЗП2, має дві складові: кількість реальних і кількість умовних заявок. Умовні заявки враховують час затримки, бо за кожний пропущений такт обслуговування пакета з БЗП2 адаптивний перемикач (АП) формує умовну заявку. Тому черга заявок у формувачі заявок ФЗ2 для повільного потоку зростає і без надходження пакетів у БЗП2.

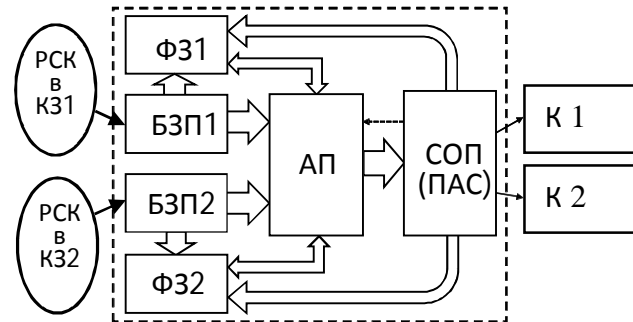


Рис. 3. Структурно-функціональна схема вузла комутації з адаптивним перемикачем

Якщо представити надмірну затримку пакетів критичною сумарною кількістю реальних і умовних заявок від пакетів у БЗП2, то один пакет, який є першим в черзі від БЗП2, пропустивши певну кількість тактів виведення в СОП, буде вилучено. Коли адаптивний перемикач фіксує ситуацію, в якій для одного пакета, що перебуває в БЗП2, кількість заявок стає більшою, ніж кількість заявок від пакетів з БЗП1 – здійснюється виведення пакета з БЗП2 на обслуговування. Якщо кількість заявок є однаковою, виникає конфліктна ситуація, для вирішення якої прийнято (розглянуто і досліджено) два правила: адаптивний перемикач віддає перевагу для виведення пакета або з БЗП2, або з БЗП1.

Вербальна модель експлуатаційної функціональної поведінки вузла комутації з адаптивним виведенням пакетів з двох буферних запам'ятовувальних пристроїв в систему обслуговування пакетів

Формування вербальної моделі процесу проходження пакетів через ВК із запропонованим методом усунення надмірної затримки пакетів є першим етапом технології розроблення стохастичних моделей дискретно-неперервного типу. Для розроблення стохастичної моделі експлуатаційної функціональної поведінки ВК його вербальна модель повинна надати інформацію: про структурно-функціональну схему ВК; про випадкові чинники, які визначають експлуатаційну функціональну поведінку вузла комутації; перелік подій, які відбуваються у ВК в процесі проходження через нього пакетів.

Структурно-функціональна схема ВК з адаптивним перемикачем надана на рисунку 3.

1) *Вхідні потоки пакетів.*

Пакети у ВК надходять від розвідувально-сигналізаційних систем, встановлених на місцевості у двох контрольованих зонах (РСК у КЗ1 і РСК у КЗ2). Пакети на вхід ВК надходять в будь-який момент часу, тому інтервали часу між сусідніми пакетами є випадковими величинами.

Параметри вхідного потоку:

λ_1 – інтенсивність надходження пакетів першого (швидкого) потоку;

λ_2 – інтенсивність надходження пакетів другого (повільного) потоку;

t_{n1} – середнє значення інтервалів часу між моментами надходження сусідніх пакетів у БЗП1;

t_{n2} – середнє значення інтервалів часу між моментами надходження сусідніх пакетів у БЗП2.

2) *Буферний запам'ятовувальний пристрій* призначений для тимчасового зберігання пакетів, які надійшли у вузол комутації. Буферний запам'ятовувальний пристрій необхідний, оскільки надходження пакетів у вузол комутації не синхронізоване з роботою СОП.

Параметри БЗП та показники представлення варіантів надходження пакетів в БЗП1 у стохастичній моделі:

m та n – ємність БЗП1 і БЗП2 (максимальна кількість пакетів, які може прийняти БЗП);

P_1 – ймовірність надходження за один цикл формування графа станів і переходів одного пакета у БЗП1;

P_2 – ймовірність надходження за один цикл формування графа станів і переходів двох пакетів у БЗП1;

P_3 – ймовірність надходження за один цикл формування графа станів і переходів трьох пакетів у БЗП1.

3) *Система обслуговування пакетів* є програмно-апаратною системою (ПАС).

Показник функціональності СОП: t_o – середнє значення тривалостей обслуговування одного пакета.

4) *Адаптивний перемикач виконує наступні функції*: отримання повідомлення (команди, сигналу) від СОП про готовність прийняти черговий пакет на обслуговування;

отримання повідомлень про кількість заявок від лічильників – формувачів заявок кожного БЗП;

порівняння черг заявок від БЗП і прийняття рішення щодо БЗП, з якого буде виведено пакет;

виведення пакета із БЗП у СОП;

вилучення пакета з надмірною затримкою із БЗП2.

У проведених дослідженнях прийнято, що затримка пакета вважається надмірною, коли сумарна кількість реальних і умовних заявок дорівнює 5. Ємність обох БЗП однакова, тобто кожен БЗП може прийняти по 4 пакети.

Показник функціональності АП: $t_{АП}$ – середнє значення тривалостей виконання своїх функцій адаптивним перемикачем.

Опис ситуацій в експлуатаційній функціональній поведінці вузла комутації інформаційної мережі зв'язку спеціального призначення

Втрата пакетів у ВК відбувається в таких трьох ситуаціях:

втрата пакетів швидкого потоку через відсутність місць у БЗП1;

втрата пакетів повільного потоку через надмірну затримку у БЗП2;

втрата пакетів повільного потоку через відсутність місць у БЗП2.

Кількість втрачених пакетів визначають такі показники: «інтенсивність надходження пакетів» та тривалість інтервалу часу, протягом якого БЗП залишається заповненим. Значення цієї тривалості визначає тривалість обслуговування одного пакета в СОП.

Опис ситуацій з обслуговуванням пакетів:

1. Пакет швидкого або повільного потоків прийшов у вузол комутації. Він може потрапити в такі ситуації:

1.1. Відповідний буферний запам'ятовувальний пристрій порожній, СОП вільна; пакет заходить в СОП на обслуговування.

1.2. Система обслуговування пакетів зайнята обслуговуванням пакета; свій буферний запам'ятовувальний пристрій не заповнений; пакет заходить у свій БЗП.

1.3. Система обслуговування пакетів зайнята обслуговуванням пакета; свій буферний запам'ятовувальний пристрій заповнений; пакет втрачається.

2. Після надходження одного пакета в БЗП1 або БЗП2 відповідний формувач заявок отримує одну реальну заявку.

3. Коли система обслуговування пакетів закінчила обслуговування чергового пакета, існують такі варіанти продовження в її функціонуванні:

3.1. Якщо в БЗП є пакет (черга пакетів), то пакет передається на обслуговування в СОП.

3.2. Якщо в БЗП пакети відсутні, то СОП залишається в режимі очікування.

4. Коли система обслуговування пакетів закінчила обслуговування чергового пакета, він передається користувачам К1 (командування) і К2 (засоби ураження).

4.1. Формувачі заявок отримують повідомлення від СОП про черговий такт обслуговування.

4.2. Адаптивний перемикач отримує службове повідомлення від СОП про початок процедури прийняття рішення і виведення пакета;

4.3. Адаптивний перемикач отримує повідомлення від формувачів заявок про стан черг обох БЗП.

4.4. Адаптивний перемикач приймає рішення залежно від кількості заявок від обох БЗП і виводить відповідний пакет у СОП.

4.5. Формувачі заявок оновлюють інформацію про кількість заявок від БЗП після виведення пакета.

5. При рівності кількості реальних заявок на обслуговування від пакетів із БЗП1 і сумарній кількості реальних і умовних заявок від пакетів з БЗП2 адаптивний перемикач може здійснювати виведення пакета на обслуговування з БЗП1 або з БЗП2. Відповідь на питання, якому варіанту слід віддати перевагу, дало проведене дослідження за допомогою розробленої стохастичної моделі експлуатаційної функціональної поведінки ВК.

6. Коли кількість заявок від БЗП2 становить певне критичне значення (у виконаних дослідженнях прийнято 5), вважається, що перший пакет в його черзі отримав надмірну затримку і має бути вилучений з ВК.

7. Тривалість обслуговування (перебування) одного (чергового) пакета в СОП визначає сумарна тривалість всіх процедур оброблення сигналу цього пакета в СОП та тривалість очікування цим пакетом дозволу на передавання користувачам К1 і К2.

Стохастична модель експлуатаційної функціональної поведінки вузла комутації

Для проведення досліджень ефективності запропонованого методу зменшення втрат пакетів через надмірну затримку у ВК розроблена стохастична модель його експлуатаційної функціональної поведінки. Для розроблення такої моделі використано метод простору станів. Розроблення стохастичної моделі об'єкта дослідження здійснюється за спеціальною технологією [15], в основу якої покладено структурно-автоматну модель [24]. Для формування компонент структурно-автоматної моделі експлуатаційної поведінки ВК необхідно здійснити розроблення опорного графа станів і переходів за методикою, представленою в [15].

Адекватність розробленої стохастичної моделі реальній експлуатаційній функціональній поведінці ВК визначає: врахування в ній вибраних показників функціональності і параметрів, використана деталізація представлення графа станів і переходів у компонентах вектора станів, перелік базових подій [19, 25] експлуатаційної функціональної поведінки ВК.

На першому етапі розроблення стохастичної моделі сформований перелік врахованих показників функціональності і параметрів є таким:

інтенсивності надходження пакетів швидкого і повільного потоків;

середнє значення тривалостей обслуговування пакета;

тривалість виконання функцій адаптивного перемикача;

ємності БЗП1 і БЗП2;

ймовірності надходження одного, двох і трьох пакетів за час виконання функцій адаптивного перемикача і системи обслуговування пакетів;

кількість заявок, які визначають надмірну затримку пакетів повільного потоку.

На другому етапі розроблення стохастичної моделі експлуатаційної поведінки розроблено опорний граф станів і переходів. Його вектор станів має 8 компонент:

Компонента **V1** представляє поточне значення кількості пакетів, які перебувають у БЗП1; $V1 \in 0, \dots, m$; де m – кількість місць для пакетів в БЗП1; початкове значення $V1 = 0$.

Компонента **V2** представляє поточне значення кількості пакетів, які перебувають у БЗП2; $V2 \in 0, \dots, n$; де n – кількість місць для пакетів в БЗП2; початкове значення $V2 = 0$.

Компонента **V3** представляє поточне значення кількості реальних заявок від черги пакетів у БЗП1; $V3 \in 0, \dots, m$; початкове значення $V3 = 0$.

Компонента **V4** представляє поточне сумарне значення кількості реальних і умовних заявок ($U3$) від черги пакетів у БЗП2, тобто $V2+U3$; $V4 \in 0, \dots, w$; де w – граничне значення кількості заявок $V2+U3$ від черги пакетів у БЗП2, яке визначає надмірну затримку пакетів у черзі і відповідно вилучення першого в черзі пакета з ВК; початкове значення $V4 = 0$.

Компонента **V5** представляє стан адаптивного перемикача (АП); $V5 = 0$ – АП у стані очікування моменту початку процедури прийняття рішення; $V5 = 1$ – в АП прийнято рішення про виведення пакета з БЗП1; $V5 = 2$ – в АП прийнято рішення про виведення пакета з БЗП2; початкове значення $V5 = 0$.

Компонента **V6** представляє стан системи обслуговування пакетів (СОП); $V6 = 0$ – СОП очікує приходу пакета, вона працездатна і вільна; $V6 = 1$ – СОП зайнята, відбувається обслуговування пакета; початкове значення $V6 = 0$.

Компонента **V7** представляє порядкові номери циклів представлення в моделі трьох альтернативних варіантів надходження пакетів першого потоку у БЗП1 та одного варіанта надходження пакетів другого потоку в БЗП2; $V7 = 0$ – початок циклів представлення в моделі надходження пакетів у БЗП1 і БЗП2; $V7 \in 1 \dots 12$ – порядкові номери циклів представлення в моделі надходження пакетів; початкове значення $V7 = 0$.

Компонента **V8** представляє фіксацію в моделі події «втрата пакетів»; $V8 = 1$ – «втрата пакетів» через відсутність місця у БЗП1; $V8 = 2$ – «втрата пакетів» через відсутність місця в БЗП2; $V8 = 3$ – «втрата пакета» через надмірну затримку в БЗП2; початкове значення $V8 = 0$.

Експлуатаційну функціональну поведінку ВК у стохастичній моделі представлено (відображено) чотирма базовими подіями: надходження пакета швидкого потоку в БЗП1; надходження пакета повільного потоку в БЗП2; прийняття рішення і виведення пакета

з БЗП на обслуговування; закінчення процедури обслуговування пакета.

Опорний граф станів розроблено для таких значень параметрів ВК: кількість місць у БЗП1 для зберігання пакетів швидкого потоку $m = 4$; кількість місць у БЗП2 для зберігання пакетів повільного потоку $n = 4$; граничне сумарне значення кількості реальних і умовних заявок від черги пакетів у БЗП2 $w = 5$. Слід відзначити, що кількість місць в обох БЗП у вузлах комутації інформаційних мереж зв'язку спеціального призначення визначає кількість пакетів швидкого і повільного потоків, які доцільно зберігати в чергах на обслуговування. Кількість пакетів швидкого потоку, які доцільно зберігати в черзі на обслуговування, визначає допустима затримка пакета у ВК. Затримку пакета в БЗП1 визначають дві складові:

а) тривалість обслуговування одного пакета в СОП, помножена на кількість пакетів, які знаходяться в черзі в БЗП1 в момент його надходження;

б) тривалість обслуговування пакетів у СОП з черги в БЗП2, які отримують пріоритет за рахунок умовних заявок.

У розробленому графі станів і переходів та відповідно в стохастичній моделі експлуатаційної поведінки ВК представлено 3 варіанти надходження пакетів у БЗП1 за час обслуговування одного пакета в СОП. Ці варіанти обумовлюють особливості розробленого графа станів. Звертаємо увагу на те, що під час виконання досліджень сума значень ймовірностей надходження за час обслуговування пакета одного (P_1), двох (P_2) і трьох (P_3) пакетів має дорівнювати одиниці.

Задані значення параметрів ВК та варіанти його експлуатаційної поведінки визначають розмірність розробленого опорного графа, який має 88 станів і 106 переходів. На основі опорного графа станів і переходів визначено компоненти структурно-автоматної моделі експлуатаційної поведінки вузла комутації [24].

Структурно-автоматна модель експлуатаційної поведінки вузла комутації має 4 компоненти: базові події; вектор станів, логічні вирази представлення ситуацій, в яких відбуваються базові події; правила модифікації компонент вектора станів.

Для автоматизації проведення (виконання) досліджень ефективності методу усунення надмірної затримки пакетів сформовано програмну стохастичну модель експлуатаційної функціональної поведінки вузла комутації. Програмна стохастична модель має дві складові: розроблену структурно-автоматну модель експлуатаційної функціональної поведінки вузла комутації і універсальний програмний модуль [25]. В програмному модулі реалізовано метод простору станів. Згідно з методом програмний модуль на основі введеної структурно-автоматної моделі виконує побудову моделі

у вигляді графа станів і переходів, на основі графа станів і переходів формує систему диференціальних рівнянь і розв'язує її. Отриманий після розв'язання системи диференціальних рівнянь розподіл ймовірності перебування в станах експортується в програму Excel, де здійснюється визначення показників ефективності ВК «ймовірність втрати пакетів через надмірну затримку» для повільного потоку і «ймовірності втрати пакетів через відсутність місць в БЗП1 і БЗП2».

Дослідження ефективності методу усунення надмірної затримки пакетів при вирішенні конфліктних ситуацій на користь виведення пакета або з БЗП2, або з БЗП1

Результати дослідження ефективності методу усунення надмірної затримки пакетів із першим правилом вирішення конфліктних ситуацій на користь пакетів з БЗП2 зображені на рисунку 4. Для узагальненого представлення результатів досліджень залежність ймовірностей втрат пакетів від співвідношення між інтенсивностями швидкого і повільного потоків пакетів показана як залежність від коефіцієнта навантаження ВК. Зростання коефіцієнта навантаження ВК формується за рахунок зростання інтенсивності надходження пакетів швидкого потоку.

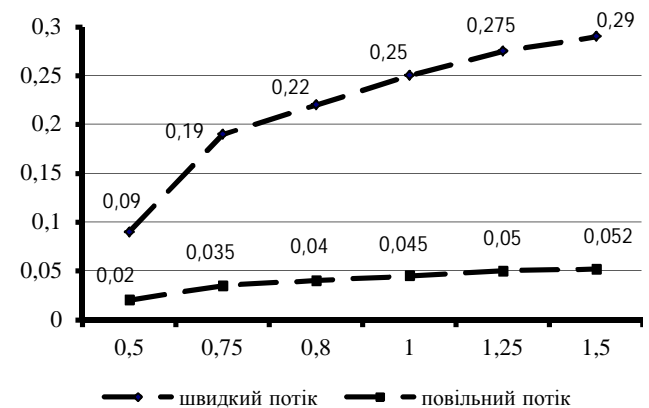


Рис. 4. Залежності ймовірностей втрати пакетів ($P_{вт}$) від коефіцієнта навантаження вузла комутації (ρ) з першим правилом

Бачимо, що втрати пакетів повільного потоку через надмірну затримку суттєво зменшені в порівнянні з втратами при використанні у ВК спільної черги для пакетів обох потоків. Втрати пакетів при використанні у ВК спільної черги для пакетів обох потоків показані на рисунку 2. Однак великою є різниця (до 20%) між втратами пакетів швидкого і повільного потоків.

Результати дослідження ефективності методу усунення надмірної затримки пакетів з другим правилом вирішення конфліктних ситуацій на користь пакетів з БЗП1 зображені на рисунку 5.

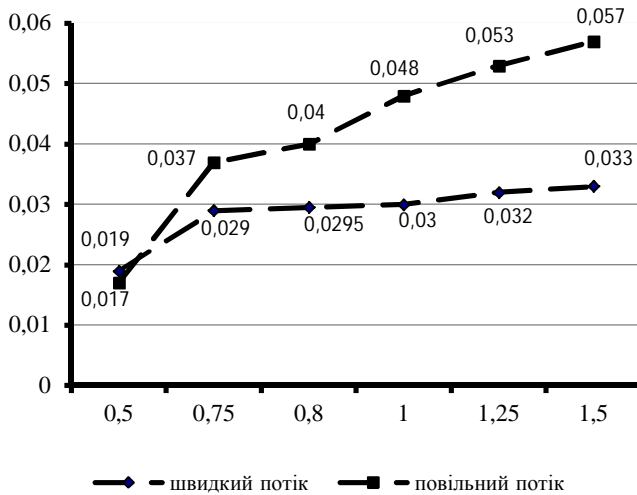


Рис. 5. Залежності ймовірностей втрати пакетів ($P_{вт}$) від коефіцієнта навантаження вузла комутації (ρ) з другим правилом

Бачимо, що втрати пакетів швидкого потоку через відсутність місць в БЗП1 суттєво зменшилися (до 3,1%), в порівнянні з першим правилом вирішення конфліктних ситуацій. Разом з цим бачимо, що втрати пакетів повільного потоку через надмірну затримку мають незначне зростання (до 5,7%).

Висновки

Запропонований метод усунення надмірної затримки пакетів у вузлу комутації інформаційної мережі зв'язку спеціального призначення дає змогу підвищити ефективність у бойових умовах його застосування та уникнути втрати розвідувальних даних.

Проведені дослідження на запропонованій стохастичній моделі експлуатаційної функціональної поведінки вузла комутації показали доцільність використання методу усунення надмірної затримки пакетів з правилом вирішення конфліктних ситуацій на користь першого буферного запам'ятовувального пристрою. Запропонований метод забезпечує близькі значення показників ефективності «ймовірність втрати пакетів» для швидкого і повільного потоків.

За результатами дослідження експлуатаційної поведінки вузла комутації з адаптивним виведенням пакетів із двох буферних запам'ятовувальних пристроїв у систему обслуговування пакетів запропонований метод забезпечує суттєве зменшення значення ймовірності втрати пакетів через надмірну затримку. Реалізація вузла комутації з запропонованим методом потребує введення адаптивного перемикача і лічильників заявок для кожного буферного запам'ятовувального пристрою.

При підвищенні пріоритету обслуговування пакетів із черги БЗП2 за рахунок умовних заявок зростає ймовірність втрати через переповнення БЗП1. З такими

наслідками необхідно погодитися заради підвищення ефективності вузла комутації, в який надходять два потоки пакетів із різними інтенсивностями.

Подальші дослідження слід проводити без умови, що апаратні засоби вузла комутації, в тому числі адаптивний перемикач, є безвідмовними на заданій тривалості бойового застосування інформаційної мережі зв'язку спеціального призначення.

Список літератури

1. Volochiy B. Yu. and Onyshchenko V. A. Research of the dependence of the guard signaling complex on the location of seismic sensors. *European journal of modern technologies*. Kharkiv, 2014. № 2/9 (68). pp. 54-60. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2014_2%289%29_12 (дата звернення: 15.02.2022).
2. Волочий Б. Ю., Змисний М. М., Онищенко В. А., Сальник Ю. П., Шкіллок О. П. Оцінка можливостей комплексу охоронної сигналізації з різною кількістю сейсмічних датчиків біля зони контролю. *Системи та технології*. Дніпро, 2019. № 1 (57) С. 47-67. DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2019-1-57> (дата звернення: 15.02.2022).
3. Волочий Б. Ю., Онищенко В. А. Моделювання реакції комплексу охоронної сигналізації на появу рухомого об'єкта сейсмотатчиками, розміщеними у дальній та ближній зонах контролю. *Військово-технічний збірник*. Львів, 2014. № 1 (10). С. 7-12. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.10.2014.7-12> (дата звернення: 15.02.2022).
4. Volochiy B., Onyshchenko V. Zmysnyi M., Kulyk I., Leonchuk V. Synthesis of Components Effectiveness Factors of Guard Signaling Complex with Layout of Three Seismic Sensors in Control Zone and with Majority Principle of Taking Decisions. *IEEE Proceedings of 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET) "Lviv Politechnic"*. Lviv-Slavske, 2018. p. 346-354. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_12 (дата звернення: 15.02.2022).
5. Кувшинов О. В., Борисов О. В., Прокопенко Є. М. Аналіз задач оперативного управління радіоресурсом систем радіозв'язку. *Зб. наук. пр. Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Київ, 2011. Вип. № 30. С. 121-126. URL: http://www.library-univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/znp_vi_knu/znp_vi_kn_u_2011_30.pdf (дата звернення: 15.02.2022).
6. Шварц М. Сети связи: протоколы, проектирование и анализ. [перевод с англ.]: учебник. Москва: Наука, 1992. 336 с.
7. Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления: учебник. *Отделение информ. технологий вычислит. систем РАН*. Москва: Наука, 2006. 333 с. ISBN 5-02-033782-X
8. Romanchuk V., Klymash M., Beshley M., Panchenko O., Polishchuk A. Development of software-based router model with adaptive selection of algorithms for queues servicing. *Technology audit and production reserves*. 2018. №3/2(41). pp. 46-55. ISSN 2226-3780. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.135778> (дата звернення: 15.02.2022).
9. Волочий Б. Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем: навч. посіб. Львів: НУ "Львівська політехніка", 2004. 220 с.
10. Fang Y., Yen K., Pan D., Sun Z. Buffer Management Algorithm Design and Implementation Based on Network

Processors *International Journal of Computer Science and Information Security*. 2010, Vol. 8, № 1, pp. 1-8. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1005/1005.0905.pdf> (дата звернення: 15.02.2022).

11. Sumalatha S., Sreenivasulu G, Uday Kiran Bhargava. Multicast Node Communication Using Virtual Queue with Process Scheduling. *Journal of Computer Science*. 2015, № 11 (2), pp. 337-343. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2015.337-343>. (дата звернення: 15.02.2022).

12. Zhenzhen J., Zhangl B., Gong W., Mouftah H. A virtual queue-based back-pressure scheduling algorithm for wireless sensor networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2015, pp. 2-9. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13638-015-0260-2> (дата звернення: 15.02.2022).

13. Pedarsani R., Walrand J. Stability of multiclass queueing networks under longestqueue and longest-dominating-queue scheduling. *Applied Probability Trust*. 2015. pp. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1017/jpr.2016.10> (дата звернення: 15.02.2022).

14. Sonagara Payal T. Round Robin CPU Scheduling Using Dynamic Time Quantum with Multiple Queue. *International Journal of Science and Research*. 2015. Vol. 4, pp. 997-999. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2015.997-999> (дата звернення: 15.02.2022).

15. Miaji Y., Hassan S. Comparative Simulation of Scheduling Mechanism in Packet switching Network, in Proc. *Network Applications Protocols and Services (NETAPPS)*. Second International Conference. 2010. pp. 141-147. DOI: <https://doi.org/10.1109/NETAPPS.2010.27> (дата звернення: 15.02.2022).

16. Semeria Ch. Supporting differentiated service classes: Queue scheduling principles, *Juniper Networks*, Part number: 200020-001 12/01/ URL: <https://www.cse.iitb.ac.in/~varsha/allpapers/packet-scheduling/wfqJuniper.pdf> (дата звернення: 15.02.2022).

17. Floyd S., Jacobson V., Floyd S. Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance. *ACM/IEEE Transactions on Networking*, № 1(4), pp. 397-413. DOI: <https://doi.org/10.1109/90.251892> (дата звернення: 15.02.2022).

18. Beshley H., Beshley M., Maksymuk T., Strykhalyuk B. Method of Centralized Resource Allocation in Virtualized Small Cells Network with IoT Overlay. *IEEE Proceedings of 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*. Lviv-Slavske, 2018. pp. 1147-1151. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_12 (дата звернення: 15.02.2022).

19. Beshley M., Seliuchenko M., Panchenko O., Polishuk A. Adaptive flow routing in SDN. *IEEE 14th International Conference The Experience of 300 Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*. Lviv, 2017. pp. 298-302. URL: <https://doi.org/10.1009/CADSM.2017.7916140> (дата звернення: 15.02.2022).

20. Chervenets V., Romanchuk V., Puha O., Bilyk O. Quality increasing of traffic flow transferring in multiservice networks. *2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)*. Lviv, 2017. pp. 274-277. DOI: <https://doi.org/10.23977/iotca.2017.31003> (дата звернення: 15.02.2022).

21. Annadurai C. Review of Packet Scheduling Algorithms in Mobile Ad Hoc Networks. *International Journal of Computer Applications*. 2011. Vol. 15, No. 1. pp. 7-10. DOI: <https://doi.org/10.5120/1914-2552> (дата звернення: 15.02.2022).

22. Chervenets V., Klymash M., Romanchuk V. Investigation and Simulation of System for Data Flow Processing in Multiservice Nodes Using Virtualization Mechanisms. *IEEE First*

Ukraine Conference on electrical and computer engineering (UKRCON). 2017. pp. 989-992. DOI: <https://doi.org/10.1109/UKRCON.2017.8100397> (дата звернення: 15.02.2022).

23. Tian H., Zhou X., Liu J. A Hybrid Network Traffic Prediction Model Based on Optimized Neural Network. *IEEE 18th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT)*. Taipei, 2017. pp. 284-287. DOI: [10.11591/ijece.v11i2.pp1450-1459](https://doi.org/10.11591/ijece.v11i2.pp1450-1459) (дата звернення: 15.02.2022).

24. Fedasyuk D., Volochiy S. Method of developing the structural-automaton models of fault-tolerant systems *Proceedings of the IEEE 4th International Conference "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)"*. Lviv, 2017. pp. 22-26. URL: <https://science.lpnu.ua/scsit/all-volumes-and-issues/volume-864-number-1-2017-/metodika-rozroblennya-strukturno-avtomatnih> (дата звернення: 15.02.2022).

25. Volochiy B., Mandziy B., Ozirkovskiy L. Extending the features of software for reliability analysis of fault-tolerant systems. *Computational Problems of Electrical Engineering*, Lviv, 2012. Volume 2, number 2. pp. 113-121. DOI: <https://doi.org/10.33577-2312-4458.21.2012.113-121> (дата звернення: 15.02.2022).

References

1. Volochiy B.Yu. and Onyshchenko V.A. (2014), Research of the dependence of the guard signaling complex on the location of seismic sensors. *European journal of modern technologies*. 2014. № 2/9 (68). pp. 54-60. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2014_2%289%29_12 (Accessed 15 February 2022).

2. Volochiy B.Yu., Zmysny M.M., Onyshchenko V.A., Salnyk Yu.P. and Shkilyuk O.P. (2019), "Otsinka mozhlyvostey kompleksu okhoronnoyi syhnalizatsiyi z riznoyu kil'kistyu seysmichnykh datchyktiv bilya zony kontrolyu" [Estimation of the possibilities of the security alarm system with different number of seismic sensors near the control zone]. *Systems and Technologies Dnipro*. № 1 (57). pp. 47-67. DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2019-1-57> (Accessed 15 February 2022). [in Ukrainian].

3. Volochiy B.Yu. and Onyshchenko V.A. (2014), "Modelyuvannya reaktsiyi kompleksu okhoronnoyi syhnalizatsiyi na poyavu rukhu ob'yekta seysmodatchykamy, rozmishchenymy v dal'niy ta blyzhniy zoni kontrolyu" [Simulation of the response of the burglar alarm complex to the appearance of a moving object by seismic sensors located in the far and near control zones]. *Military Technical Collection*. Lviv. Issue № 1(10). pp.7-13. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.10.2014.7-13> (Accessed 15 February 2022). [in Ukrainian].

4. Volochiy B., Onyshchenko V., Zmysnyi M., Kulyk I. and Leonchuk V. (2018), "Synthesis of Components Effectiveness Factors of Guard Signaling Complex with Layout of Three Seismic Sensors in Control Zone and with Majority Principle of Taking Decisions". *Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*. IEEE Proceedings of 14th International Conference. "Lviv Politechnic". Lviv-Slavske. pp. 346-354. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_12

5. Kuvshinov O. V, Borisov O. V. and Prokopenko E. M (2011), "Analiz zadach operatyvnoho upravlinnya radioresursom system radiozv "yazku" [Analysis of the tasks of operational management of radio resources of radio communication systems]. *Coll. Science. Avenue of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv*. Kyiv. Issue. № 30. pp. 121-126. URL: http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/znp_vi_knu/znp_vi_knu_2011_30.pdf (access date: 15.02.2022). [in Ukrainian].

6. Shvarts M. (1992), "Sety sv'yazku: protokoly, proektuvannya ta analiz" [Holiday networks: protocols, design and analysis], [translation from english] : Tutorial, Nauka, Moscow, 336 p. [in Russian].
7. Makarov I. M., Lokhyn V. M., Man'ko S. V. and Romanov M. P. (2006), "Yskusstvennyy intelekt i intelektual'ni systemy upravlinnya" [Artificial intelligence and intelligent control systems] : Tutorial, Department of Information Technologies of Computer Systems of the RAS, Nauka, Moscow, 333 c. [in Russian].
8. Romanchuk V., Klymash M., Beshley M., Panchenko O. and Polishchuk A. (2018), "Development of software-based router model with adaptive selection of algorithms for queues servicing". *Technology audit and production reserves*. №3/2(41). pp. 46-55. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.135778> (Accessed 15 February 2022).
9. Volochiy B.Y. (2004), "Tehnologiya modeluyvannya alorytmu povedinky informacijnyh system" [Technology of modeling algorithms of information systems behavior] : Tutorial, NU "Lviv Politechnika", Lviv, 220 p. [in Ukrainian].
10. Fang Y., Yen K., Pan D. and Sun Z. (2010), "Buffer Management Algorithm Design and Implementation Based on Network Processors". *International Journal of Computer Science and Information Security*. Vol. 8, Issue №1, pp. 1-8. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1005/1005.0905.pdf> (Accessed 15 February 2022).
11. Sumalatha S., Sreenivasulu G and Uday Kiran Bhargava. (2015), "Multicast Node Communication Using Virtual Queue with Process Scheduling". *Journal of Computer Science*. Issue № 11 (2), pp. 337-343. DOI: <https://doi.org/10.3844/jcscsp.2015.337.343> (Accessed 15 February 2022).
12. Zhenzhen J., Zhangl B., Gong W. and Moufah H. (2015), "A virtual queue-based back-pressure scheduling algorithm for wireless sensor networks". *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2015, pp. 2-9. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13638-015-0260-2> (Accessed 15 February 2022).
13. Pedarsani R. and Walrand J. (2016), "Stability of multiclass queueing networks under longestqueue and longest-dominating-queue scheduling". *Applied Probability Trust. Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California, Berkeley*, pp. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1017/jpr.2016.10> (Accessed 15 February 2022).
14. Sonagara Payal T. (2015), "Round Robin CPU Scheduling Using Dynamic Time Quantum with Multiple Queue" [*International Journal of Science and Research*. Vol. 4, pp. 997-999. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2015.997-999> (Accessed 15 February 2022).
15. Miaji Y. and Hassan S., (2010), "Comparative Simulation of Scheduling Mechanism in Packet switching Network, in Proc.". *Network Applications Protocols and Services (NETAPPS)*. Proceedings of Second International Conference. pp. 141-147. DOI: <https://doi.org/10.1109/NETAPPS.2010.27> (Accessed 15 February 2022).
16. Semeria Ch. (2012), "Supporting differentiated service classes: Queue scheudling principles". *Juniper Networks*, Part number: 200020-001 12/01/ URL: <https://www.cse.iitb.ac.in/~varsha/allpapers/packet-scheduling/wfqJuniper.pdf> (Accessed 15 February 2022).
17. Floyd S., Jacobson V. and Floyd S. (2012), "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance". *ACM/IEEE Transactions on Networking*, 1(4), pp. 397-413. DOI: <https://doi.org/10.1109/90.251892>
18. Beshley H., Beshley M., Maksymyuk T. and Strykhaluk B. (2018), "Method of centralized resource allocation in virtualized small cells network with IoT overlay". *Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, IEEE Proceedings of 14th International Conference on Lviv-Slavske. pp. 1147-1151. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_12 (Accessed 15 February 2022).
19. Beshley M., Seliuchenko M., Panchenko O. and Polishuk A. (2017), "Adaptive flow routing model in SDN". *The Experience of 300 Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*, IEEE Proceedings of 14th International Conference Lviv. pp. 298-302. URL: <https://doi.org/10.1009/CADSM.2017.-7916140> (Accessed 15 February 2022).
20. Chervenets V., Romanchuk V., Puha O. and Bilyk O. (2017), "Quality increasing of traffic flow transferring in multiservice networks" [Pidvyschennya yakosti peredachi trafiku v mul'tyservisnykh merezhakh]. *Advanced Information and Communication Technologies (AICT)*, IEEE Proceedings of 2nd International Conference on Lviv. pp. 274-277. DOI: <https://doi.org/10.23977/iotea.2017.31003> (Accessed 15 February 2022).
21. Annadurai C. (2011), "Review of Packet Scheduling Algorithms in Mobile Ad Hoc Networks". *International Journal of Computer Applications*. Vol. 15, No. 1. pp. 7-10. DOI: <https://doi.org/10.5120/1914-2552>. (Accessed 15 February 2022).
22. Chervenets V., Klymash M. and Romanchuk V. (2017), "Investigation and Simulation of System for Data Flow Processing in Multiservice Nodes Using Virtualization Mechanisms". electrical and computer engineering (UKRCON), IEEE Proceedings of First Ukraine Conference on pp. 989-992. DOI: <https://doi.org/10.1109/UKRCON.2017.8100397>. (Accessed 15 February 2022).
23. Tian H., Zhou X. and Liu J. (2017), "A Hybrid Network Traffic Prediction Model Based on Optimized Neural Network". Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT), IEEE Proceedings of 18th International Conference on Taipei. pp. 284-287. DOI:10.11591/ijece.v1i12.pp1450-1459. (Accessed 15 February 2022).
24. Fedasyuk D. and Volochiy S. (2017), "Method of developing the structural-automaton models of fault-tolerant systems". *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*. Proceedings of the IEEE 4th International Conference. Polyana, Ukraine. pp. 22-26. URL: <https://science.lpnu.ua/scsit/all-volumes-and-issues/volume-864-number-1-2017/metodika-rozroblennya-strukturno-avtomatnih> (Accessed 15 February 2022).
25. Volochiy B., Mandziy B. and Ozirkovskyi L. (2012), "Extending the features of software for reliability analysis of fault-tolerant systems". *Computational Problems of Electrical Engineering*, Volume 2, number 2. Lviv: Polytechnic National University, Lviv. pp. 113-121. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2012.113-121> (Accessed 15 February 2022).

METHOD OF INCREASING THE EFFICIENCY OF THE SWITCH NODE OF THE INFORMATION COMMUNICATION NETWORK FOR SPECIAL PURPOSE IN THE CONDITIONS OF COMBAT USE

B. Volochiy, A. Kushyk, Yu. Salnyk, V. Onyshchenko, P. Kazan

The peculiarity of the special purpose communication information network is that its functioning is influenced by the tactical situation. In particular, it determines the intensity of the flow of packets with information about the enemy's moving objects from reconnaissance and signaling complexes to the switching node, and from it to the control point and means of destruction, depending on the probable nature of enemy action. In combat applications, the information network operates simultaneously with fast and slow packet flows.

At the same time, the packet delay in the switching node should not exceed the allowable value. Excessive packet delay results in the loss of relevance of transmitted messages and, consequently, in the loss of intelligence data. The proposed method of eliminating excessive delay involves the formation of two queues of packets in the switching node. Withdrawal of service packages from two queues is carried out using a new adaptive procedure.

An adaptive switch has been introduced into the structure of the switching node, designed to withdraw packets from queues to the packet service system. When selecting a packet queue, the adaptive switch compares the number of service requests from each queue. The method assumes that the number of service requests from the fast packet flow queue determines the number of packets that are in the queue. The number of requests that are formed from the queue of slow-flow packets has two components: the number of real and the number of conditional requests. Actual applications take into account the number of packets in the queue.

Real requests take into account the number of packets in the queue. Conditional requests take into account the delay time, since for each missed cycle of the packet's withdrawal from the slow flow queue, the adaptive switch generates a conditional request. Therefore, the number of requests for a slow stream grows even without packets entering the queue. A comparative study of options for implementing the adaptive procedure has been carried out. The proposed method for eliminating excessive packet delay in the switching node provides an increase in the efficiency of the functioning of a special-purpose information network as a whole.

Keywords: switching node, information communication system for special purposes, probability of packet loss, adaptive decommissioning of packets for service.

UDC 621.867.52

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.26.2022.12-16>

I. Vrublevskiy

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv

Article history: Received 10 March 2022; Revised 11 April 2022; Accepted 2 May 2022

PROSPECTS OF APPLICATION OF VIBRATORY DEVICES IN MILITARY EQUIPMENT

Possibilities of employing vibratory devices as conveying mechanisms in some models of military equipment, in particular in engineering weapons, are considered. Vibratory conveyors, which are widely used in industry for moving products over short distances, are mainly devices with one-component rectilinear oscillations, in which at the high conveying velocity the modes of movement with hopping are implemented, that is unacceptable for conveying many military facilities, including weapons and explosive objects. Vibratory conveying in non-hopping modes (without tossing) at high speed is possible when using independent (two-component) horizontal and vertical oscillations of the working body of the vibratory conveyor. Based on the analysis of the influence of oscillation parameters on the velocity and stability of vibratory movement of objects in non-hopping modes, a conclusion is made about the feasibility of using horizontal harmonic oscillations in near-resonant mode and vertical oscillations with piecewise constant acceleration. The equations describing the optimal law of vertical oscillations, which consists of two segments of parabolas during the period of oscillations, are derived. A constructive scheme of the vibratory conveyor based on a three-mass oscillating system with an unbalanced vibratory drive of horizontal oscillations and eccentric vibratory drive of vertical oscillations is proposed. The working body of the vibratory conveyor is connected to the intermediate frame by an elastic system of vertical oscillations, the stiffness of which is adjusted to a mode far from resonance. The reactive frame is connected to the intermediate frame by an elastic system of horizontal oscillations, the stiffness of which provides near-resonant mode. The presented vibratory conveyor significantly enhances the conveying velocity in non-hopping modes, which are required for conveying explosive objects, as well as increases the lifting angles and reduces the vibration transmitted to the environment, which will facilitate its use in military machines. It also outlines a number of issues that need to be addressed in the design and implementation of such devices in military equipment.

Keywords: vibratory conveyor, independent horizontal and vertical oscillations

Statement of problem

Military engineering equipment often uses mechanisms for conveying the samples of weapons and other military loads over relatively short distances. They include, in particular, the mechanism for moving mines in the tracked barrier, means of cargo transportation in mechanized

warehouses, etc. [1,2]. As conveying devices, they often use belt or chain conveyors, which are equipped with an electric motor. They are quite bulky and energy-intensive, require quite high maintenance and repair costs.

Vibratory conveyors widely used in industrial enterprises [3,4] are devoid of such shortcomings. However, available mass-produced conveyors are rarely suitable for