

Ю. С. Долгий

ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ПО КАНАЛУ З ВИПАДКОВИМ ДОСТУПОМ

Предметом статті є оцінка результатів математичної моделі, яка складається з систем рівнянь, які описують різноманітні стани системи та закони розподілу часу обслуговування пакетів, що дозволяє дослідити основні ймовірнісно-часові характеристики та проаналізувати роботу окремого пристрою системи. **Мета** статті полягає в оцінці результатів математичної моделі функціонування мережі передачі даних з конкуруючим доступом на основі комутуючого пристрою з кінцевим розміром буфера. Для досягнення максимальної ймовірності необхідно використовувати комутатори з оптимальним розміром буфера, щоб і затримка була невелика, і буфер не занадто швидко переповнювався при високій завантаженні комутатора, що являється **завданням** даної статті. Запропонована математична **модель**, яка складається з систем рівнянь, що описують різні стани системи та законів розподілу часу обслуговування пакетів, що дозволяє дослідити основні ймовірнісно-часові характеристики та проаналізувати роботу окремого пристрою системи та його взаємодію з іншими пристроями мережі на основі щільності розподілу ймовірності часу обслуговування пакету. Кінцевим **результатом** є отримані щільності розподілу часу доставки пакетів для різних режимів роботи системи можна апроксимувати відповідним аналітичним законом розподілу. Модель дозволяє розрахувати ймовірність доставки даних з урахуванням кінцевого розміру буферів використовуваних комунікаційних. **Висновком** можна вважати те що, для досягнення максимальної ймовірності необхідно використовувати комутатори з оптимальним розміром буфера, щоб і затримка була невелика, і буфер не занадто швидко переповнювався при високій завантаженні комутатора. Таким чином, за допомогою розробленої моделі можна вирішувати завдання вибору оптимального розміру буфера комутатора і оцінки часу доставки даних. Так як переповнення буферів призводить до втрат інформаційних кадрів, що, в свою чергу, призводить до збільшення часу доставки пакетів.

Ключові слова: стахостичність; мережа; пакет; комутатор; буфер; чисельні методи; граф станів; система рівнянь; передача даних; ймовірність.

Вступ

Для розробки математичної моделі в системі реального часу на основі протоколів з випадковим доступом необхідно провести її параметричну ідентифікацію. Для розрахунків по математичній моделі необхідно визначення всіх параметрів. Всі параметри моделі, крім пропускної здатності комутатора, визначаються режимом роботи.

Потребує уточнення пропускна здатність комутатора. Ймовірність успішного отримання в своє розпорядження загального середовища залежить від завантаженості мережі, визначається інтенсивність надсилання даних до мережі, від розміру буфера комутатора і його пропускної здатності. Інтенсивність надсилання даних до мережі залежить від кількості пристроїв які відправляють пакети і їх розміру. Внутрішня буферна пам'ять призначена для згладжування короткочасних пульсацій трафіку. Адже навіть якщо трафік добре збалансований і продуктивність процесорів портів, а також інших обробних елементів комутатора достатня для передачі середніх значень трафіку, то це не гарантує, що їх продуктивності вистачить при дуже великих пікових значеннях навантажень.

Швидкість фільтрації визначає швидкість, з якою комутатор виконує наступні етапи обробки кадрів: прийом кадру в свій буфер, перегляд адресної таблиці з метою знаходження порту для адреси призначення кадру, знищення кадру, так як його порт призначення збігається з портом-джерелом.

Швидкість просування визначає швидкість, з якою комутатор виконує етапи обробки кадрів, це прийом кадру в свій буфер, перегляд адресної таблиці з метою знаходження порту для адреси призначення

кадру, передача кадру в мережу через знайдений по адресній таблиці порт призначення.

В якості основного показника застосовується швидкість роботи комутатора, передача кадрів мінімальної довжини пояснюється тим, що такі кадри завжди створюють для комутатора найбільш важкий режим роботи в порівнянні з кадрами іншого формату при рівній пропускної здатності переносяться призначених для користувача даних. Тому при проведенні тестування комутатора режим передачі кадрів мінімальної довжини використовується як найбільш складний тест, який повинен перевірити здатність комутатора працювати при найгіршому поєднанні для нього параметрів трафіку [16].

Пропускна здатність комутатора вимірюється кількістю переданих в одиницю часу через його порти призначених для користувача даних. Так як комутатор працює на каналному рівні, то для нього одними даними є ті дані, які переносяться в поле даних кадрів протоколів каналного рівня Ethernet, Token Ring, FDDI і т.п.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Питанням моделювання систем реального часу з використанням каналів з випадковим доступом присвячені роботи А.П. Харкевича, Д. Флінта, Д. Бертсекаса, Р. Галагер і ін.

Моделювання систем з конкуруючим доступом до середовища передачі даних розглянуто в роботах А.А. Назарова, Г.І. Фаліна і ін. Аналіз існуючих математичних моделей, що описують процеси в системах реального часу з використанням каналів з випадковим доступом, показав, що вони не в повній

мірі враховують можливі причини затримок у часі доставки інформації. Крім того, вони дозволяють визначити лише середні або граничні параметри передачі даних, але не дають можливості дослідити закон розподілу часу доставки інформації. Рішення даних завдань дозволить розширити сферу використання і зменшити терміни проектування таких систем [5, 8].

Ціль та задачі дослідження

Мета статті полягає в оцінці результатів математичної моделі функціонування мережі передачі даних з конкуруючим доступом на основі комутуючого пристрою з кінцевим розміром буфера.

Для досягнення поставленої мети в дослідженні сформульовані наступні завдання:

- аналіз математичної моделі мережі, яка використовує конкуруючий доступ до середовища передачі даних;
- аналіз впливу розміру пакета даних та інтенсивності їх відправки на щільність розподілу ймовірностей і ймовірність доставки даних.

Основний матеріал

В результаті дослідження було розроблено математичну модель з використанням конкуруючого доступу до середовища передачі даних в системі реального часу [16]. Перед застосуванням отриманої математичної моделі для комплексного

дослідження потрібно оцінити адекватність отриманої математичної моделі. При побудові математичної моделі досліджуваного об'єкта зазвичай приймаються припущення, виконання кожного з яких є необхідною умовою правомірності застосування отриманої математичної моделі, тобто адекватності досліджуваної проблеми. Адекватність математичних моделей перевіряємо шляхом порівняння результатів теоретичного моделювання та експериментальних випробувань. Один з найбільш поширених способів такого дослідження – використання методів математичної статистики [7]. Суть цих методів полягає в перевірці висунутої гіпотези (в даному випадку - про адекватність моделі) на основі деяких статистичних критеріїв. При цьому слід зауважити, що при перевірці гіпотез методами математичної статистики необхідно мати на увазі, що статистичні критерії не можуть довести жодної гіпотези - вони можуть лише вказати на відсутність спростування. Дослідження чисельного рішення з експериментальними результатами (рис. 1) проводилися при наступних значеннях параметрів системи:

- кількість пристроїв в мережі – 10;
- розмір пакета – 400 байт;
- інтенсивність відправки – 550 пакетів в секунду;
- інтенсивність обробки – 6215 пакетів в секунду;
- розміру буфера комутатора – 2560 байт;
- розмір буфера в пакетах – 6553.

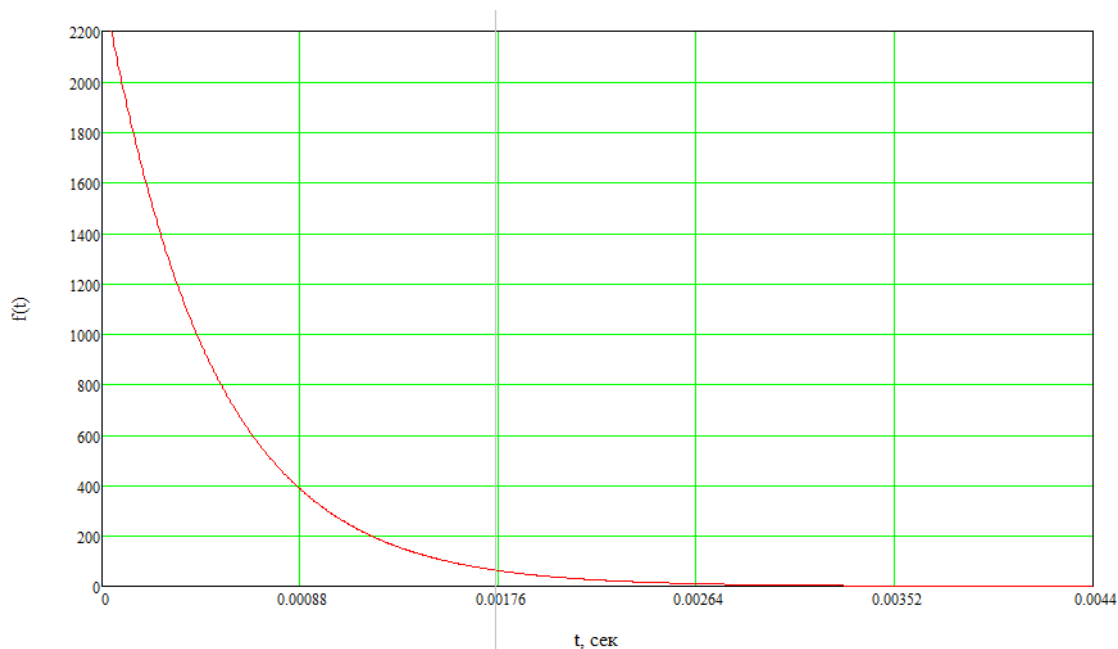


Рис. 1. Щільність розподілу ймовірності часу передачі пакету інформації, отримане експериментально і в результаті моделювання, 1 експеримент, 2 - математична модель

Для перевірки адекватності моделі використано критерій Колмогорова-Смірнова: $D_m=0,07514$, $D=0,2483009$, $D_m < D$, гіпотезу підтверджено [4].

Так, наприклад, розрахункове значення склало 0,07514 при відправці пакетів розміром 300 байт з інтенсивністю 800 пакетів в секунду, а критичне

0,2483009. Проведений в цьому розділі аналіз функціонування системи реального часу з передачею інформації по каналу з випадковим доступом дозволив розробити математичну модель, яка адекватно описує процеси, які реально відбуваються в таких системах. Отримані результати дозволили зробити висновок про

адекватність математичної моделі і довести високу ефективність запропонованого принципу модифікації посадочних місць. Таким чином, розроблена математична модель мережі передачі даних з конкуруючим доступом дозволяє враховувати недетермінованість передачі даних не тільки системи в цілому, а й від конкретного пристрою.

Аналіз математичної моделі мережі, яка використовує конкуруючий доступ до середовища передачі даних

Проведемо аналіз впливу кількості мережевих пристроїв на ймовірність доставки пакетів в мережах реального часу на щільність розподілу часу доставки пакетів.

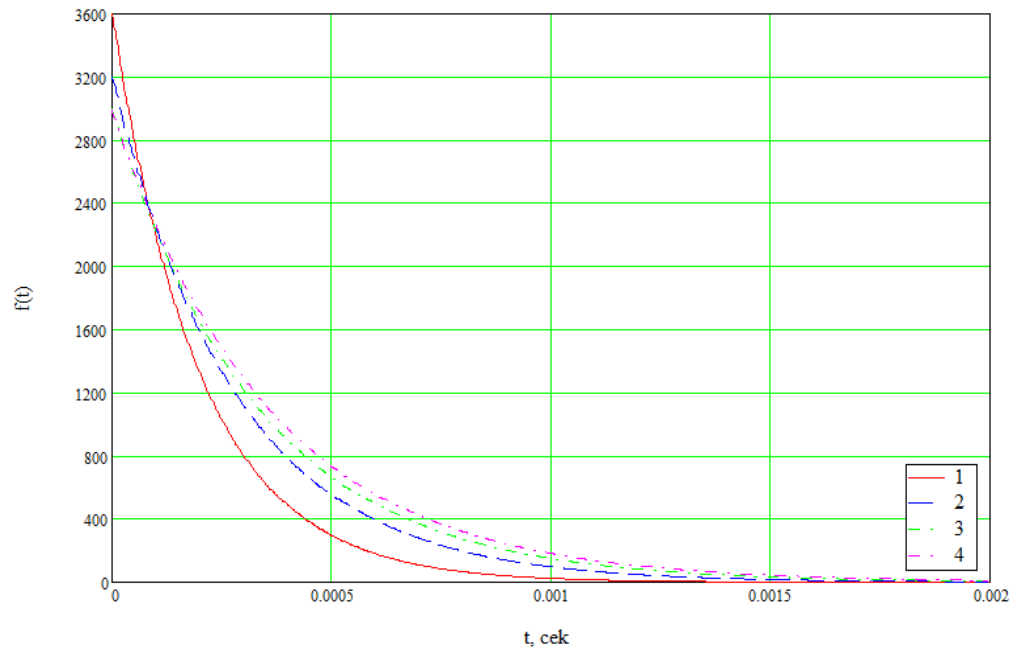


Рис. 2. Щільність розподілу часу доставки пакетів: 1 – 8 пристроїв; 2 – 16 пристроїв; 3 – 20 пристроїв; 4 – 24 пристроїв

Одним з найважливіших параметрів, що впливають на час доставки даних це кількість мережевих пристроїв на ділянці мережі. Аналіз результатів моделювання для 5, 10, 15 і 20 пристроїв при використанні пакетів розміром 1000 байт з інтенсивністю відправки 1000 пакетів в секунду і розміром буфера 512 кбайт (рис. 2 і рис. 3) показав, що при збільшенні кількості пристроїв, збільшується швидкість доставки пакетів і зменшується ймовірність їх доставки. Це пояснюється тим, що збільшення

обсягу переданої інформації веде до збільшення пропускної здатності комутатора, так як шини комутаторів більш продуктивні, ніж мережа Ethernet. Слід звернути увагу на зниження ймовірності доставки пакетів при збільшенні завантаженості мережі. Так що встановилася ймовірність доставки при роботі 5 пристроїв близька до 1, а при роботі 20 пристроїв ймовірність становить 0,92, рис. 2 та рис. 3 [16].

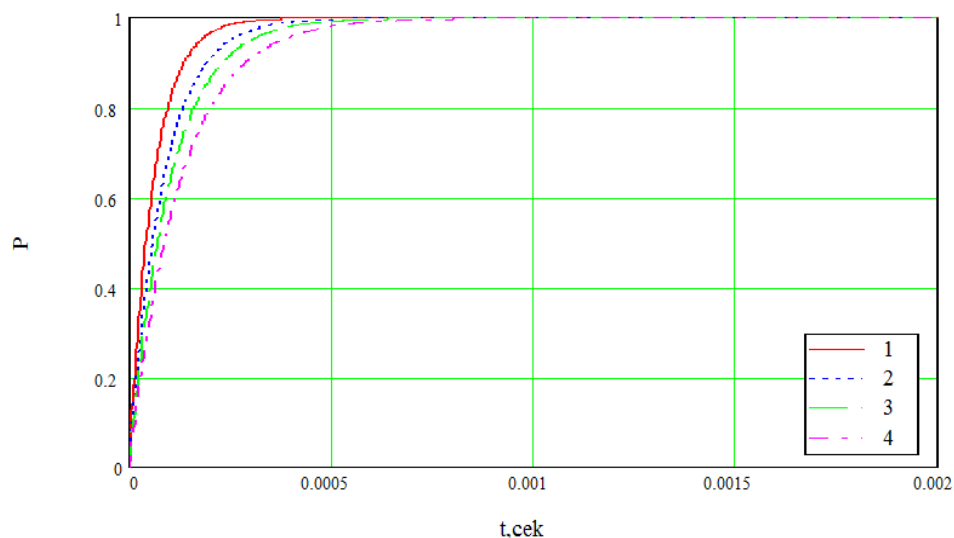


Рис. 3. Ймовірність доставки пакетів: 1 – 8 пристроїв; 2 – 16 пристроїв; 3 – 20 пристроїв; 4 – 24 пристроїв

Розроблена математична модель дозволяє розраховувати параметри мережі або накладати обмеження на параметри для досягнення заданого часу доставки [9]. Для досягнення необхідної ймовірності доставки пакетів в заданий проміжок часу можна розрахувати основні параметри мережі.

Вплив розміру пакета даних та інтенсивності їх відправки на щільність розподілу ймовірностей і ймовірність доставки даних

На час доставки даних суттєво впливають розміри пакетів, що передаються в мережі в реальному часі. В даному випадку затримки під час доставки пакету створюються через заповнення

буфера комутатора, таким чином можна сказати, що використовуючи розмір пакета найменшої довжини, можна зменшити затримки. Так само, розмір пакету суттєво впливає і на ефективність роботи мережі. Занадто великі розміри пакетів наближають мережа з комутацією пакетів до мережі з комутацією каналів, тому ефективність мережі при цьому падає. Занадто маленькі пакети помітно збільшують частку службової інформації, так як кожен пакет несе з собою заголовок фіксованої довжини, а кількість пакетів, на які розбиваються повідомлення, буде різко зростати при зменшенні розміру пакета [15].

На рис. 4 відображена залежність щільності розподілу часу доставки пакетів від розміру.

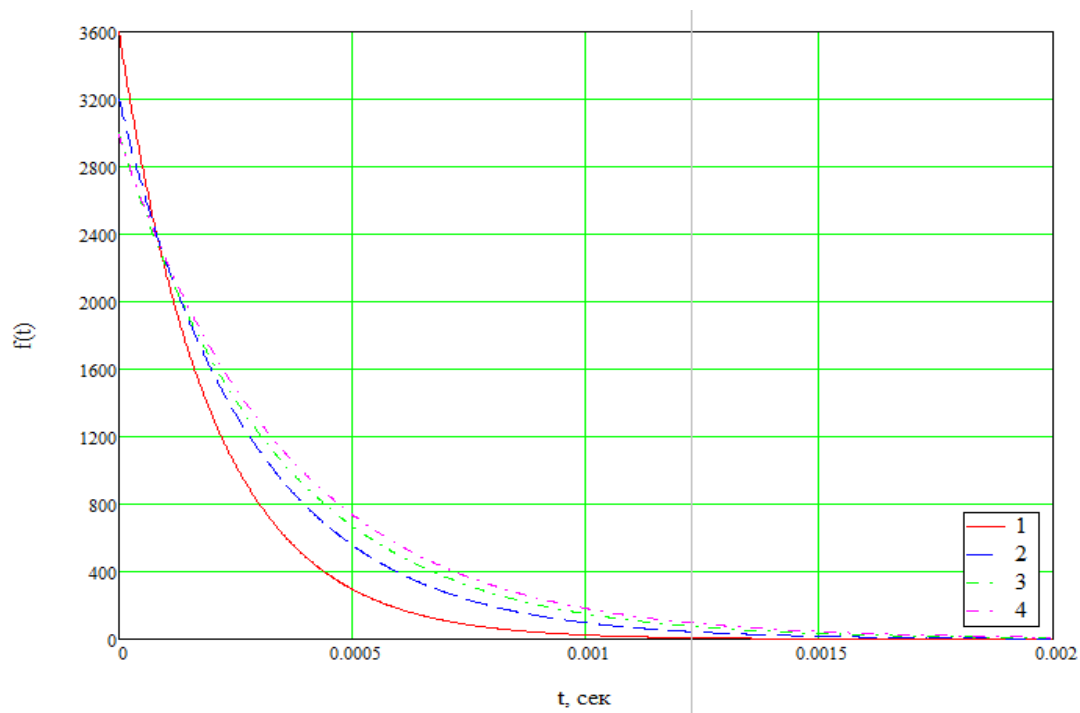


Рис. 4. Графік щільності розподілу часу доставки пакетів різного розміру пакетів: 1 – 1000 байт, 2 – 512 байт; 3 – 1256 байт; 4 – 128 байт

Існує деяка золота середина, яка забезпечує максимальну ефективність роботи мережі, однак її важко визначити точно, так як вона залежить від багатьох факторів, деякі з них до того ж постійно змінюються в процесі роботи мережі. Необхідно відзначити, що збільшення розміру пакетів може збільшити пропускну здатність мережі тільки в тому випадку, коли дані в мережі спотворюються або втрачаються, при стійкій роботі мережі. В іншому випадку збільшення розміру пакета може призвести не до підвищення, а до зниження пропускну здатності, так як мережа буде повторно передавати великий обсяг даних. Для кожного рівня спотворень даних можна підібрати раціональний розмір пакета, для якого пропускну здатність мережі буде максимальною [13].

Вплив розміру пакета на ймовірність доставки даних зображена на рис. 5.

Розроблена математична модель дозволяє розраховувати параметри мережі або накладати обмеження на параметри для досягнення заданого часу доставки. Для досягнення необхідної ймовірності доставки пакетів в заданий проміжок часу можна розрахувати основні параметри мережі.

Максимальний розмір пакета тільки створює передумови для підвищення пропускну здатності, та залежить від додатків, чи буде використана ця максимальна величина даних чи ні. Якщо, наприклад, додаток веде роботи з базою даних і пересилає на сервер SQL-запити, отримуючи у відповідь по одному короткому запису, то максимальний розмір поля даних в 4 або 16 кбайт ніяк не допоможе підвищити пропускну здатність мережі. Налаштування розміру переданих даних зазвичай відбувається на транспортному рівні стека протоколів і, можливо, на прикладному, якщо розробник програми передбачив таку можливість [6].

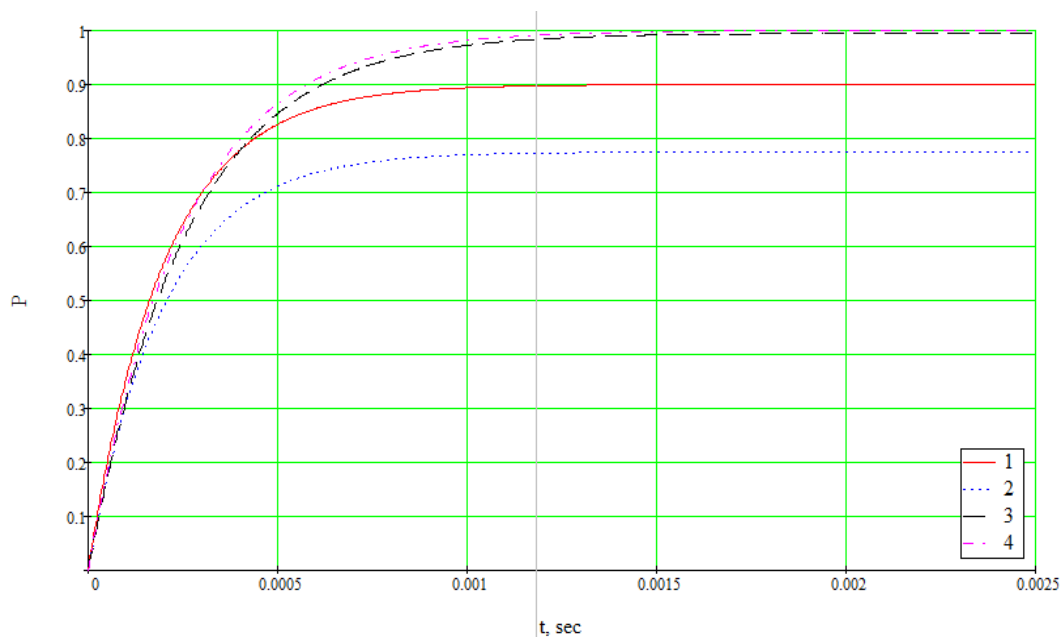


Рис. 5. Графік ймовірності часу доставки пакетів різного розміру пакетів, 1 – 1000 байт, 2 – 512 байт, 3 – 1256 байт; 4 – 128 байт

Робота з пакетами великих розмірів підвищує продуктивність мережі не тільки за рахунок зменшення накладних витрат на службову інформацію заголовка. При використанні великих пакетів підвищується продуктивність комунікаційного обладнання, що працює з кадрами та пакетами, тобто мостів, комутаторів і маршрутизаторів. Це відбувається через те, що при передачі одного і того ж обсягу інформації число використаних великих пакетів істотно менше, ніж число маленьких, а так як комунікаційне обладнання витрачає певний час на обробку кожного пакета, то й тимчасові втрати просування пакетів мостами, комутаторами і маршрутизаторами при використанні великих пакетів

менше [2]. Наприклад, максимальна ймовірність доставки пакетів за проміжок часу то 0,001 до 0,002 секунди досягається при розмірі пакетів 100 байт. Наступним параметром, що впливає на затримки під час доставки пакетів є інтенсивність їх відправки в мережу (рис. 6). Для представлених параметрів щільність розподілу ймовірності при інтенсивності відправки пакетів менше 1000 пакетів в секунду черг також не утворюється.

При збільшенні значення інтенсивності навантаження, відбувається зниження продуктивності мережі, пов'язане з збільшенням частки несвоєчасно доставлених даних. Вплив інтенсивності відправлення даних у мережу зображено на рис. 7.

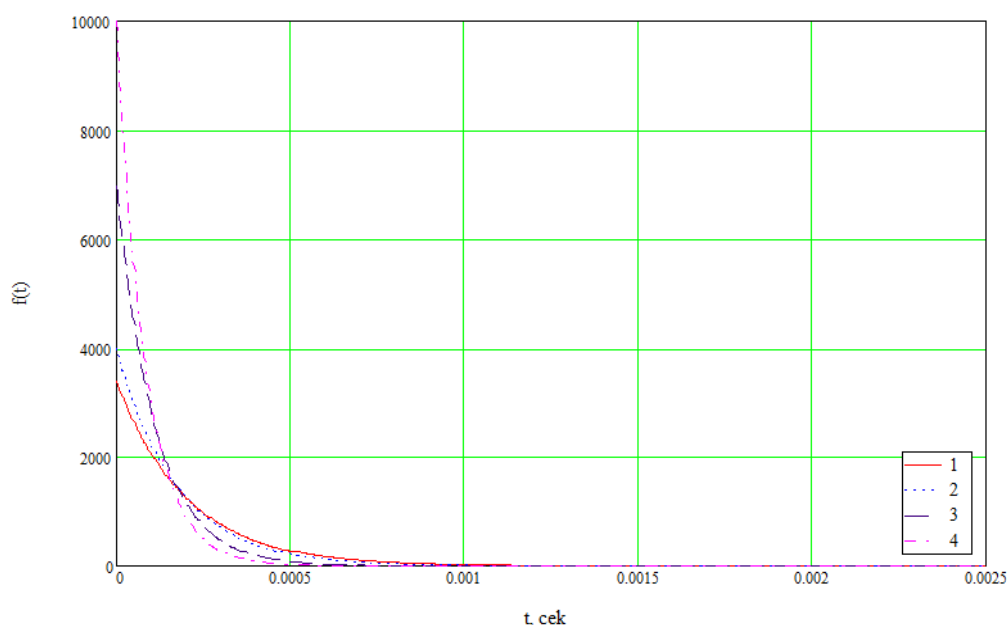


Рис. 6. Графік щільності розподілу ймовірності часу доставки пакетів при інтенсивності їх відправки 1 – 1000 пакетів в секунду; 2 – 900 пакетів в секунду; 3 – 600 пакетів в секунду; 4 – 300 пакетів в секунду. 4 – 1500 пакетів в секунду

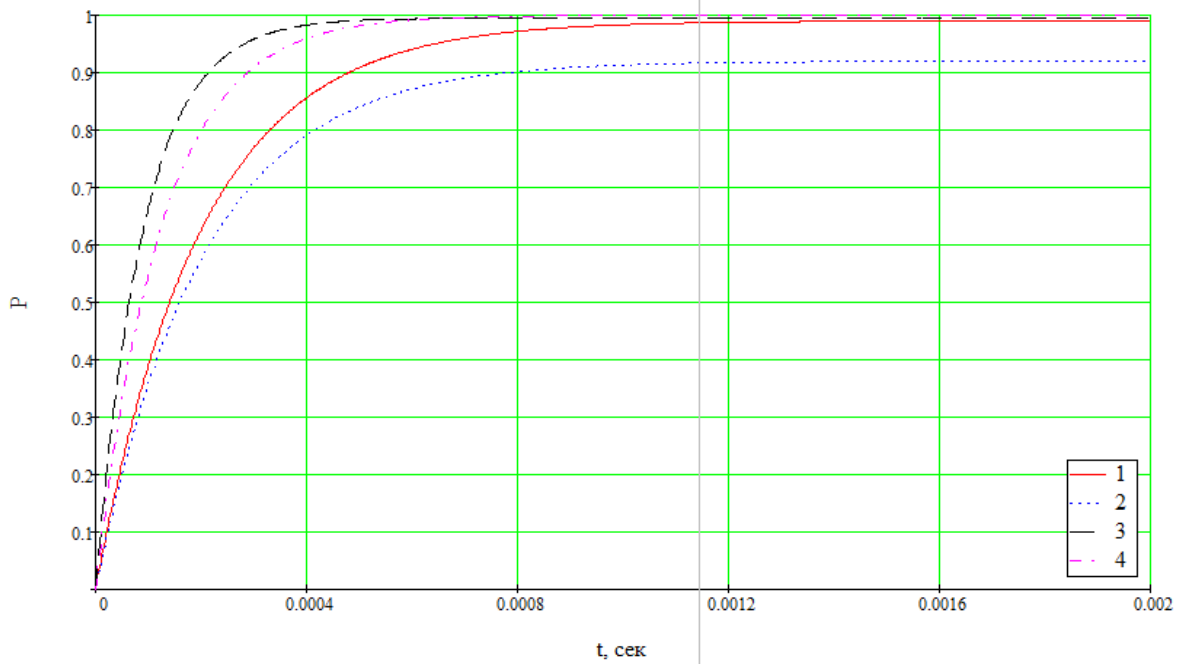


Рис. 7. Графік ймовірності часу доставки пакетів при інтенсивності їх відправки: 1 – 1000 пакетів в секунду; 2 – 900 пакетів в секунду; 3 – 600 пакетів в секунду; 4 – 300 пакетів в секунд

Розглянемо аналіз впливу параметрів математичної моделі на числові характеристики розподілу ймовірностей

Важливими числовими характеристиками розподілу ймовірностей є математичне очікування, дисперсія часу обслуговування заявки. Розглянемо, який вплив на них справляють зміни параметрів моделювання: кількість пристроїв у мережі, розмір пакетів, інтенсивність відправки даних в мережу [14].

Аналіз математичного очікування проводиться при дослідженні впливу інтенсивності відправки пакетів і розміру пакетів на час доставки пакетів [1]. Для аналізу тимчасові характеристики була проведена серія експериментів, які реалізують обмін пакетами

даних між пристроями мережі. В якості системи реального часу розглядалася локальна інформаційна мережа, що використовує протокол випадкового доступу Ethernet. Для завантаження мережі використовувалося десять комп'ютерів, що обмінюються пакетами розміром 800, 1200 і 1500 байт; частота обміну задавалося рівній 800, 1000 і 1200 пак/с. Інтенсивне зростання математичного очікування при різній інтенсивності відправки пакетів починається з зростання його розміру з 800 кбайт (рис. 8).

На рис. 9 відображена залежність середньоквадратичного відхилення часу доставки пакетів від інтенсивності їх відправки.

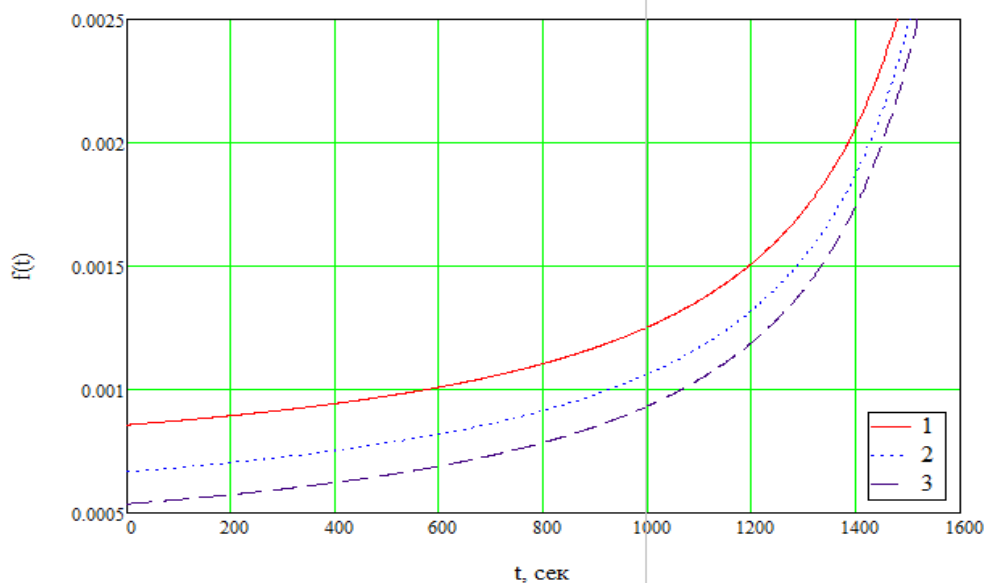


Рис. 8. Залежність математичного сподівання часу доставки пакетів від розміру пакету: 1 – інтенсивність відправки 100 пакетів у секунду; 2 – інтенсивність відправки 1000 пакетів в секунду, 3 – інтенсивність відправлення 1200 пакетів в секунду

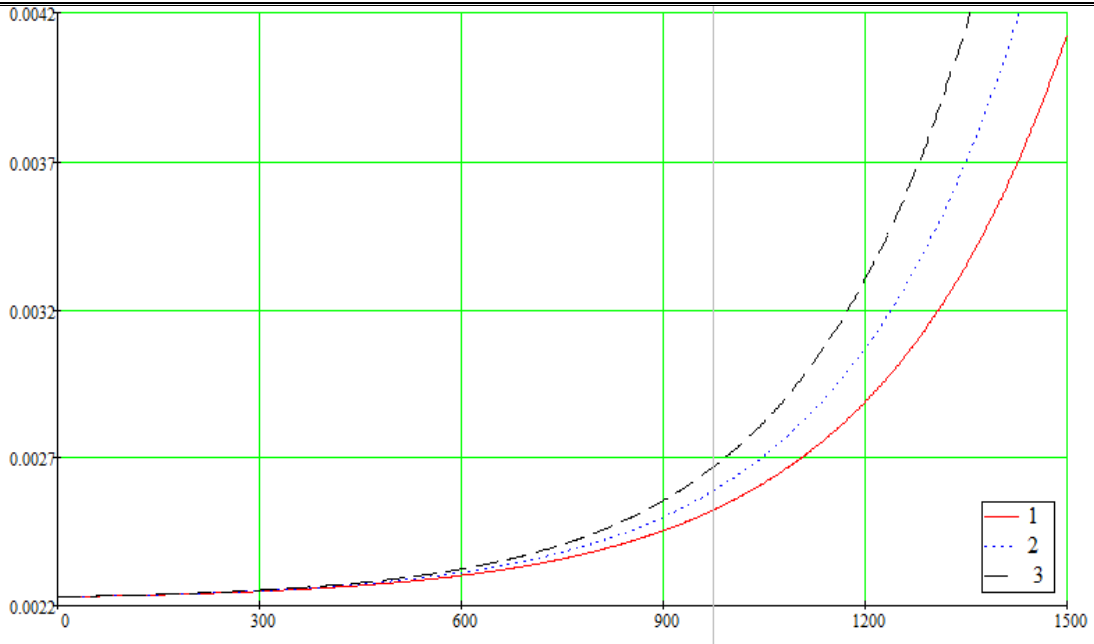


Рис. 9. Залежність середньоквадратичного відхилення часу доставки пакетів від розміру пакету: 1 – інтенсивність відправки 800 пакетів в секунду, 2 – інтенсивність відправки 1000 пакетів в секунду; 3 – інтенсивність відправлення 1200 пакетів в секунду

Таким чином, значне відхилення дисперсії часу доставки пакетів спостерігається при відправці пакетів розміром більше 800 кбайт. Для оцінки впливу інтенсивності відправки пакета на математичне сподівання і дисперсію змодельовано роботу мережі Ethernet при постійному розмірі пакета і інтенсивність відправлення від 900 пакетів секунду до 2000. Таким чином, графік залежності і математичного очікування від інтенсивності відправлення пакетів у мережу представлений на рис. 10.

Вплив інтенсивності відправки на середньоквадратичне відхилення часу доставки пакетів відображено на рис. 11.

Аналіз впливу розміру обсягу буферної пам'яті на математичне очікування ймовірності доставки пакетів, проводиться при моделюванні системи реального часу зі зміною обсягу буферної пам'яті від 4 до 24 кбайт, розмір пакета 500 байт і інтенсивність відправки файлів у мережу від 500 до 1500 пакетів в секунду. На рис. 16 відображена залежність математичного сподівання від розмірів обсягу буферної пам'яті.

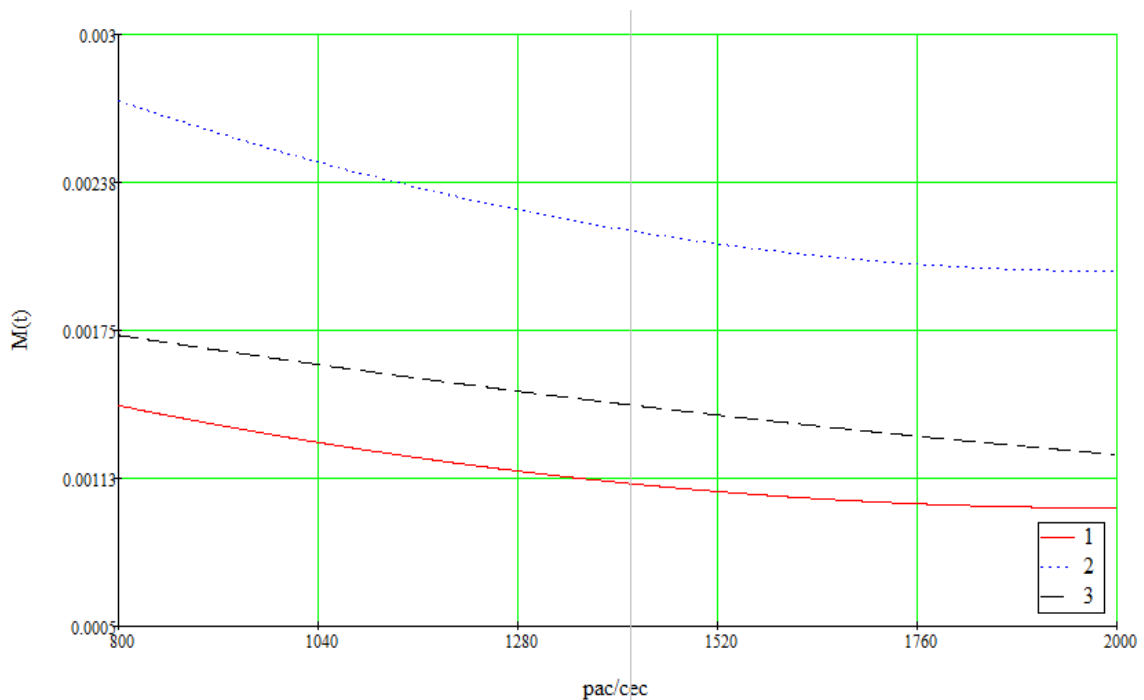


Рис. 10. Залежність математичного сподівання часу доставки пакетів від інтенсивності їх відправки. 1 – розміру пакета 1000 байт; 2 – розміру пакета 1200 байт; 3 – розмір пакета 1500 байт

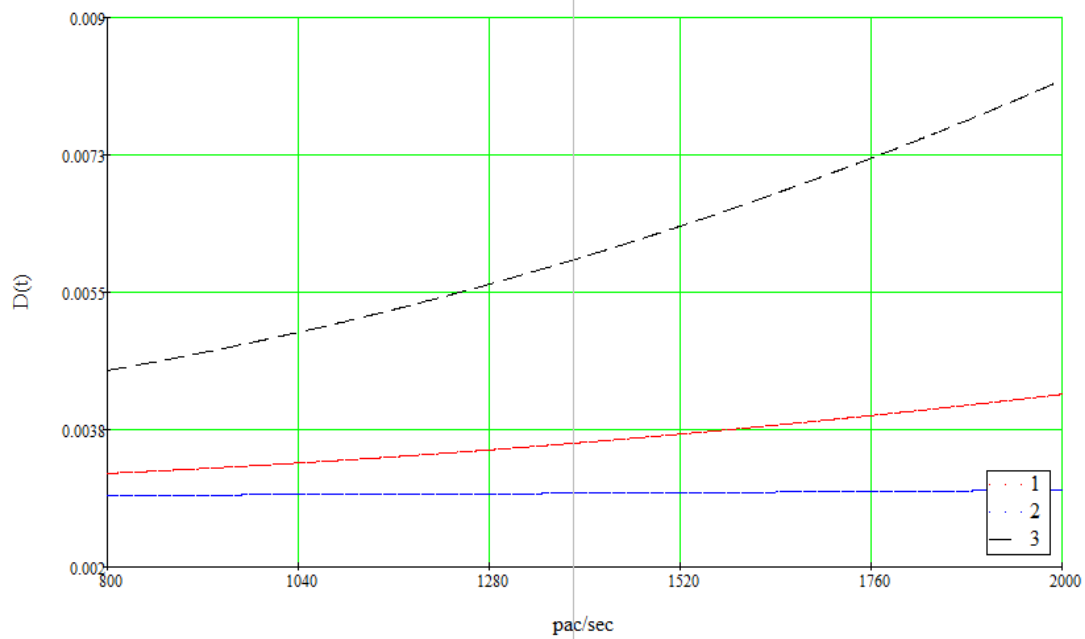


Рис. 11. Залежність середньоквадратичного відхилення часу доставки пакетів від інтенсивності їх відправки: 1 – розміру пакета 1000 байт; 2 – розміру пакета 1200 байт; 3 – розмір пакета 1500 байт

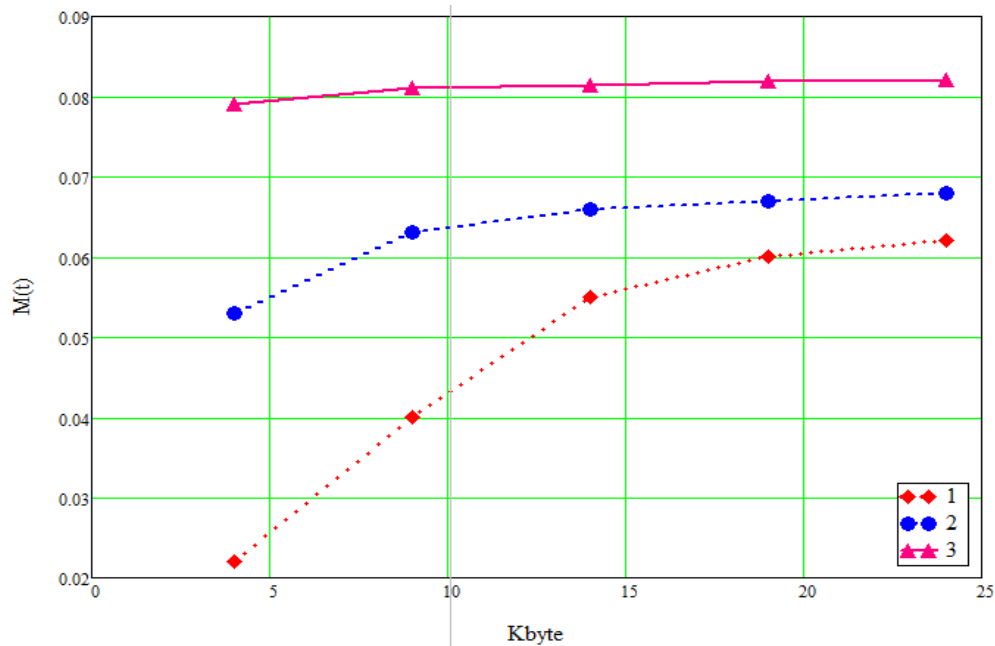


Рис. 12. Залежність математичного сподівання часу доставки пакетів від розмірів буфера комутатора 1 – інтенсивність 500 пакетів в секунду, 2 – інтенсивність 1000 пакетів в секунду, 3 – інтенсивність 1500 пакетів в секунду

Таким чином, розроблена математична модель дозволяє оцінювати вплив різних параметрів передачі даних на дисперсію і математичного очікування часу затримки даних в мережах з різними параметрами і протоколами доступу, який використовує конкуруючий доступ до середовища передачі інформації. Отримані дані слід враховувати при проектуванні та модернізації інформаційних мереж реального часу

Розглянемо вплив обсягу буферної пам'яті на імовірнісні характеристики мережі, з конкурентним доступом до середовища передачі даних [3].

Множинний конкуруючий метод доступу до середовища передачі даних, на якому ґрунтуються

протоколи, вносить невизначеність часу передачі даних, що впливає на якість перехідних процесів системи управління і на її стійкість в цілому. Один з факторів, що впливають на стахостичність доставки пакетів, є наявність черг при передачі даних по мережі через концентратори і комутатори. При малих розмірах буфера виникають, дуже великі затримки під час доставки, а при великих значеннях, черги практично відсутні [11].

Для аналізу впливу розміру буфера комутатора на час доставки пакетів, проведемо моделювання роботи мережі Ethernet при розмірі буфера 4,8 і 16 кбайт, вибір даного розміру буфера обумовлений моделювання системи з безперервним заповненням

буферної пам'яті. Сумарна навантаження на мережу проводиться відправкою пакетів з інтенсивністю 300 пакетів в секунду розміром 500 байт, всього працюють 10 станцій. Оцінка часу доставки пакетів виконана на основі обчислення різниці штампів часу доставки і почала відправлення пакетів для пари взаємодіючих термінальних пристроїв. Для

ідентифікації кадру використаний його порядковий номер, унікальний для кожного передавального термінального пристрою. Збільшення навантаження на мережу може призвести до критичних навантажень. Вплив розміру буфера на продуктивність мережі зображена на рис. 13.

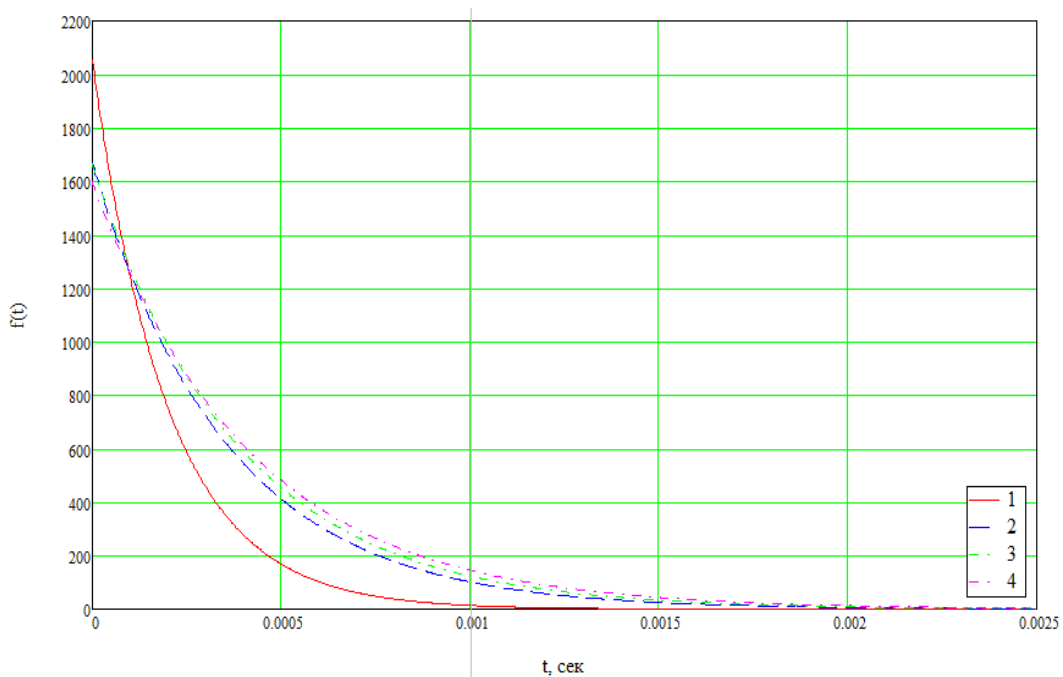


Рис. 13. Щільність розподілу часу доставки об'єму буфера комутатора пакетів 1 – 4 кбайт, 2 – 8 кбайт, 3 – 16 кбайт, 4 – 32 кбайт, 4 – 64 кбайт

На величину затримки впливає також і розмір вхідного та вихідного буфера комутатора. Чим більше розмір буфера, тим менша ймовірність, що він переповниться при високій завантаженні комутатора. Однак чим більше розмір буфера, тим більше

затримка при передачі даних. Якщо ж буфер малий, то і затримка мала, але буфер може швидко переповнюватися при високій завантаженні комутатора (рис. 14).

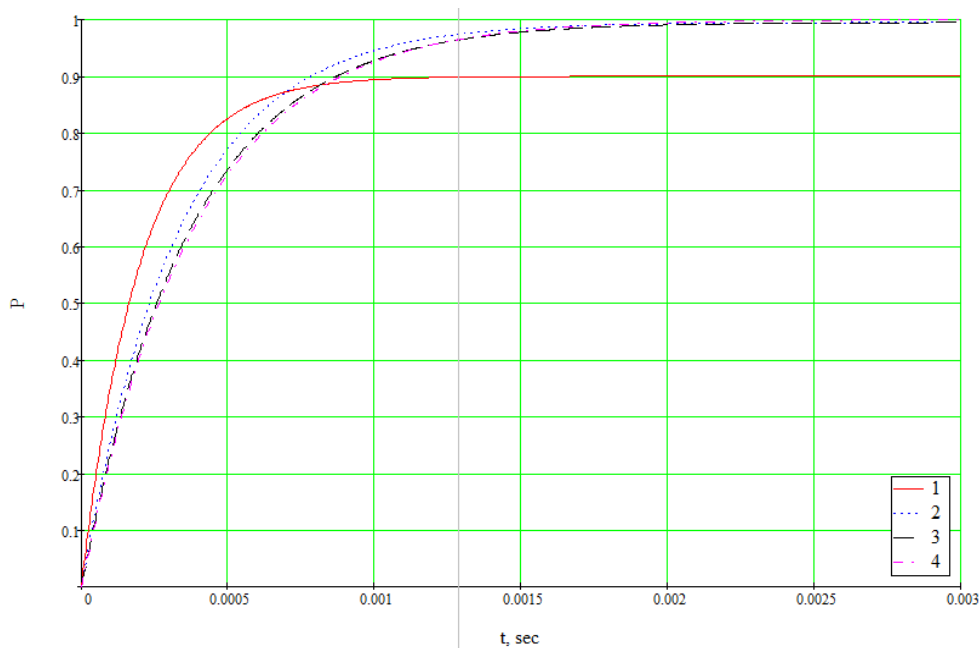


Рис. 14. Залежність ймовірності часу доставки пакетів від об'єму буфера комутатора пакетів: 1 – 4 кбайт; 2 – 8 кбайт; 3 – 16 кбайт; 4 – 32 кбайт; 4 – 64 кбайт

Висновки

При невеликих розмірах об'єму буфера продуктивність мережі збільшується, це обумовлено більшою швидкістю обробки пакетів у пристрої, але ймовірність доставки знижується, так як із-за малого об'єму буферного простору відбувається його переповнення і частина пакетів втрачається це призводить до повторного їх відправки.

Таки чином, для досягнення максимальної ймовірності необхідно використовувати комутатори з оптимальним розміром буфера, щоб і затримка була невелика, і буфер не занадто швидко переповнювався при високій завантаженні комутатора. Аналіз залежності часу доставки пакетів від розміру буфера показує, що для мереж Ethernet на базі комутаторів

час транзакції істотно залежить від розміру буфера. В області великих завантажень портів комутаторів малий розмір буферів може призводити до збільшення часу доставки пакетів в кілька разів. Це, в свою чергу, може викликати блокування та припинення функціонування додатків, час виконання яких критично до затримок. Таким чином, за допомогою розробленої моделі можна вирішувати завдання вибору оптимального розміру буфера комутатора і оцінки часу доставки даних. Так як переповнення буферів призводить до втрат інформаційних кадрів, що, в свою чергу, призводить до збільшення часу доставки пакетів. Модель дозволяє розрахувати ймовірність доставки даних з урахуванням кінцевого розміру буферів використовуваних комунікаційних вузлів.

Список літератури

1. Алиев Т. И. Основы моделирования дискретных систем. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 363 с.
2. Башарин Г. П., Коган Я. А. Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и методы расчета. Москва : Наука, 2009.
3. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : Учебник для вузов. 4-е изд. СПб. : Питер, 2010. 944 с.
4. Берж К. Теория графов и ее применения / Пер. с фр. М. : Иностранной литературы, 2002. 320 с.
5. Столлинс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. СПб. : Питер, 2003. С. 783.
6. Назаров А. А., Юревич Н. М. Исследование сети с динамическим протоколом случайного множественного доступа Алоха. Автоматизация и вычислительная техника. 1995. № 6. С. 53–59.
7. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование. М. : Наука, 2007. 316 с.
8. Вегенша Ш. Качество обслуживания в сетях IP. / пер. с англ. М. : Издательский дом "Вильямс", 2003. 386 с.
9. Дымарский Я. С. Проблемы оптимизации распределения ресурсов в сетях связи. *Телекоммуникации*. 2002. № 3. С. 12–17.
10. Кучерявый Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. М. : Наука и Техника, 2004. 336 с.
11. PROFIBUS Comprehensive Protocol Overview, URL: <http://www.rtaautomation.com/profibus/>
12. Lee G. M. A survey of multipath routing for traffic engineering. *Proc. of LNCS 3391*. Springer-Verlag. 2005. Vol. 4. P. 635–661.
13. Vutukury S. Multipath routing mechanisms for traffic engineering and quality of service in the Internet. PhD Dissertation. University of Kalifornia, 2001. 152 p.
14. Tahilramani K. H., Weiss A., Kanwar S., Kal0ya-Naraman S., Gandhi. A. BANANAS: An evolutionary framework for explicit and multipath routing in the internet. *Proc. ACM SIGCOMM Workshop on Future Directions in Network Architecture*. Karlsruhe. 2003. P. 277–288.
15. Gallager R. G. A minimum delay routing algorithm using distributed computation. *IEEE Trans. on communications*. 2005. Vol. 25. № 1. P. 73–85.
16. Литвиненко М. І., Долгий Ю. С., Хмелевський С. І. Моделювання передачі даних по каналу з випадковим доступом. Системи озброєння і військова техніка. X. : ХУПС, 2016. Вип. 2 (46). С. 124–128.

References

1. Aliev, T. I. (2009), *Fundamentals of modeling discrete systems [Osnovy modelirovaniya diskretnykh sistem]*, Spb, SPbSU ITMO, 363 p.
2. Basharin, G. P., Kogan, Ya. A. (2009), *Queue analysis in computer networks. Theory and calculation methods [Analiz ochereyey v vychislitel'nykh setyakh. Teoriya i metody rascheta]*, Moscow, Science.
3. Oliner, V. G. (2010), *Computer networks. Principles, technologies, protocols [Komp'yuternyye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly]*, 4th ed. SPb, Peter, 944 p.
4. Berge, K. (2002), *Graph Theory and its Applications [Teoriya grafov i yeye primeneniya]* / Per. with fr. Moscow, Foreign Literature, 320 p.
5. Stallings V. (2003), *Modern computer networks [Sovremennyye komp'yuternyye seti]*, 2nd ed. SPb : Piter, 783 p.
6. Nazarov, A. A., Yurevich, N. M. (1995), "Network research with dynamic Aloha random multiple access protocol" ["Issledovaniye seti s dinamicheskim protokolom sluchaynogo mnozhestvennogo dostupa Alokha"], *Automation and Computer Technology*, No. 6, P. 53–59.
7. Samarsky, A. A., Mikhailov, A. P. (2007), *Mathematical modeling [Matematicheskoye modelirovaniye]*, Moscow, Nauka, 316 p.
8. Vegensha, Sh. (2003), *Quality of service in IP networks [Kachestvo obsluzhivaniya v setyakh IP]* / per. from English, Moscow, Williams Publishing House, 386 p.
9. Dymarsky, Ya. S. (2002), "Problems of optimization of resource allocation in communication networks" ["Problemy optimizatsii raspredeleniya resursov v setyakh svyazi"], *Telecommunications*, No. 3, P. 12–17.
10. Kucheryavy, E. A. (2004), *Traffic management and quality of service on the Internet [Upravleniye trafikom i kachestvo obsluzhivaniya v seti Internet]*, Moscow, Science and Technology, 336 p.
11. PROFIBUS Comprehensive Protocol Overview, available at : <http://www.rtaautomation.com/profibus/>
12. Lee, G. M. (2005), "A survey of multipath routing for traffic engineering", *Proc. of LNCS 3391*, Springer-Verlag, Vol. 4, P. 635–661.

13. Vutukury, S. (2001), Multipath routing mechanisms for traffic engineering and quality of service in the Internet, PhD Dissertation, University of Kalifornia, 152 p.
14. Tahirmani, K. H., Weiss, A., Kanwar, S., Kalya-Naraman, S., Gandhi, A. (2003), "BANANAS: An evolutionary framework for explicit and multipath routing in the internet", *Proc. ACM SIGCOMM Workshop on Future Directions in Network Architecture. Karlsruhe*, P. 277–288.
15. Gallager, R. G. (2005), "A minimum delay routing algorithm using distributed computation", *IEEE Trans. on communications*, Vol. 25, № 1, P. 73–85.
16. Litvinenko MI, Dolgij Yu. S., (2016), "Khmelevsky SI Modeling of data transmission on a channel with random access" ["Modelyuvannya peredachi danykh po kanalu z vypadkovym dostupom"], *Systems of Arms and Military Equipment*, Vol. 2 (46), P. 124–128.

Надійшла (Received) 01.04.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Долгий Юрій Сергійович – кандидат технічних наук, Харківський національний університет повітряних сил імені Івана Кожедуба, начальник навчального відділу, Харків, Україна; email: nanavi@meta.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2441-0277>.

Долгий Юрий Сергеевич – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, начальник учебного отдела, Харьков, Украина.

Dolhyi Yurii – PhD (Engineering Sciences), Ivan Kozhedub National Air Force University, Head of the Training Department, Kharkiv, Ukraine.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО КАНАЛУ СО СЛУЧАЙНЫМ ДОСТУПОМ

Предметом статьи является оценка результатов математической модели, которая состоит из систем уравнений, описывающих различные состояния системы и законы распределения времени обслуживания пакетов, позволяющая исследовать основные вероятностно-временные характеристики и проанализировать работу отдельного устройства системы. **Цель** статьи заключается в оценке результатов математической модели функционирования сети передачи данных с конкурирующим доступом на основе коммутирующего устройства с конечным размером буфера. Для достижения максимальной вероятности необходимо использовать коммутаторы с оптимальным размером буфера, чтобы и задержка была небольшой, и буфер не слишком ли быстро переполнялся при высокой загрузке коммутатора, является **задачей** данной статьи. Предложенная математическая **модель**, которая состоит из систем уравнений, описывающих различные состояния системы и законов распределения времени обслуживания пакетов, позволяет исследовать основные вероятностно-временные характеристики и проанализировать работу отдельного устройства системы и его взаимодействие с другими устройствами сети на основе плотности распределения вероятности времени обслуживания пакета. Конечным **результатом** является полученные плотности распределения времени доставки пакетов для различных режимов работы системы можно аппроксимировать соответствующим аналитическим законом распределения. Модель позволяет рассчитать вероятность доставки данных с учетом конечного размера буферов используемых коммуникационных. **Выводом** можно считать то, для достижения максимальной вероятности необходимо использовать коммутаторы с оптимальным размером буфера, чтобы и задержка была небольшой, и буфер не слишком ли быстро переполнялся при высокой загрузке коммутатора. Таким образом, с помощью разработанной модели можно решать задачу выбора оптимального размера буфера коммутатора и оценки времени доставки данных. Так как переполнение буфера приводит к потерям информационных кадров, что, в свою очередь, приводит к увеличению времени доставки пакетов.

Ключевые слова: стохастичность; сеть; пакет; коммутатор; буфер; численные методы; граф состояний; система уравнений; передача данных; вероятность.

EVALUATION OF SIMULATION RESULTS OF DATA TRANSMISSION MODELING ON A CHANNEL WITH RANDOM ACCESS

The **subject** of the article is the evaluation of the results of a mathematical model consisting of systems of equations that describe the various states of the system and the laws of distribution of packet service time, which allows to investigate the main probability-time characteristics and analyze the operation of a single device. The **purpose** of the article is to evaluate the results of a mathematical model of the operation of a data network with competing access based on a switching device with a finite buffer size. To achieve the maximum probability, it is necessary to use switches with the optimal size of the buffer, so that the delay was small, and the buffer did not overflow too quickly at high load of the switch, which is the **task** of this article. A mathematical model consisting of systems of equations describing different states of the system and packet service time distribution laws is proposed, which allows to investigate the main probability-time characteristics and analyze the operation of a single system device and its interaction with other network devices based on the density of the probability distribution of packet service time. The final **result** is the obtained distribution densities of packet delivery time for different operating modes of the system that can be approximated by the corresponding analytical distribution law. The model allows to calculate the probability of data delivery, taking into account the final size of the buffers used by the data. The **conclusion** can be considered that, for achievement of the maximum probability it is necessary to use switches with the optimum size of the buffer that both delay was small, and the buffer is not overflowed too quickly at high loading of the switch. Thus, with the help of the developed model it is possible to solve the problem of choosing the optimal size of the switch buffer and

estimating the data delivery time. Since buffer overflow leads to loss of information frames, which, in turn, leads to increased packet delivery time.

Keywords: stochasticity; network; package; switchboard; buffer; numerical methods; state graph; system of equations; data transmission; probability.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Долгий Ю. С. Оцінка результатів моделювання передачі даних по каналу з випадковим доступом. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 2 (12). С. 157–168. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.157>.

Dolhyi, Yu. (2020), "Evaluation of simulation results of data transmission modeling on a channel with random access", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (12), P. 157–168. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.157>.
