

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-23>

УДК 621.39

Мороз Сергій Анатолійович, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0003-4677-5170>

Якимчук Наталія Миколаївна, асистент,

<https://orcid.org/0000-0002-8173-449X>

Селепина Йосип Романович, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-2421-1844>

Євсюк Микола Миколайович, к.т.н., доцент.

<https://orcid.org/0000-0002-3768-8959>

Луцький національний технічний університет, м.Луцьк, Україна

МЕТОДИ ОЦІНКИ НАВАНТАЖЕННЯ ТА ВТРАТ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ

Мороз С.А., Якимчук Н.М., Селепина Й.Р., Євсюк М.М. Методи оцінки навантаження та втрат в телекомунікаційних мережах зв'язку. В статті проведений аналіз методів оцінки навантаження та втрат в телекомунікаційних мережах зв'язку. Розглянуті різні способи для визначення різних видів навантаження в мережах та їх зв'язку між собою. Розглянуті можливості прикладних програм для комп'ютерного моделювання параметрів телекомунікаційних мережах зв'язку. Зроблені висновки по проведеному аналізу

Ключові слова: телекомунікаційна мережа зв'язку, навантаження мережі, втрати у мережі.

Moroz S.A., Yakymchuk N.M., Seleпина Y.R., Yevsyuk M.M. Methods of estimating load and losses in telecommunication communication networks. The article analyzes load and loss estimation methods in telecommunication communication networks. Different methods for determining different types of load in networks and their interconnection are considered. The possibilities of application programs for computer modeling of parameters of telecommunication communication networks are considered. Conclusions are drawn based on the analysis

Key words: telecommunication communication network, network load, network losses.

Постановка проблеми.

Для сучасної телекомунікаційної сфери важливим завданням є дослідження процесу формування навантаження в різних телефонних мережах та їх обслуговування. Тільки за наявності повноцінного правильного прогнозу розвитку телекомунікаційної мережі можливе їх раціональне проектування та побудова. Підтвердженням цього є різні проблеми зв'язку, які супроводжують інтенсивний розвиток телекомунікаційної сфери. Одним із таких проблем є вирішення завдання оцінки та розподілу навантаження у телефонних мережах.

Закономірності виникнення потоків телефонного навантаження зазвичай виявляють шляхом здійснення спостережень на функціонуючих мережах. Дослідження закономірностей формування різних параметрів потоків навантаження здійснювати досить складно тому, що параметри мережі протягом вибраного часу не залишаються сталими, зокрема складові частини телекомунікаційної мережі відрізняються ємністю та структурними складовими задіяних абонентів.

Як відомо для вивчення змінюваності телефонного навантаження використовується науковий напрям «Теорія масового обслуговування» (ТМО), яка розглядає широке коло питань кількісної та якісної оцінки процесів масового обслуговування до яких і відносяться телекомунікаційні мережі. Для систем розподілу інформації важливим є дослідження характеристик пропускну здатності телекомунікаційних систем, методів оцінки характеристик якості обслуговування.

Аналіз останніх публікацій та мета дослідження

В ТМО основним об'єктом дослідження є системи масового обслуговування (СМО) до яких відносять телекомунікаційні мережі та системи. Для реальних телефонних СМО характерними є деякі втрати в мережі. Як відомо [1-8] для телекомунікаційних мережах зв'язку (ТМЗ) важливою характеристикою є поняття «навантаження» (traffic). Навантаження поділяється на різні види, які виникають та розраховуються в залежності від типу телекомунікаційної системи. На рисунку 1 показана типова ТМЗ з втратами. В даній системі на вхід подається потік викликів, що створює вхідне навантаження L (навантаження, що надходить до системи – offered traffic). Значна частина вхідного навантаження системи Y обслуговується (обслуговане навантаження системи – carried traffic), але деяка частина викликів створює перевантаження для системи R (надлишкове

навантаження системи – rejected traffic), при цьому частина викликів, для яких не виконуються процедури обслуговування, залишають ТМЗ.

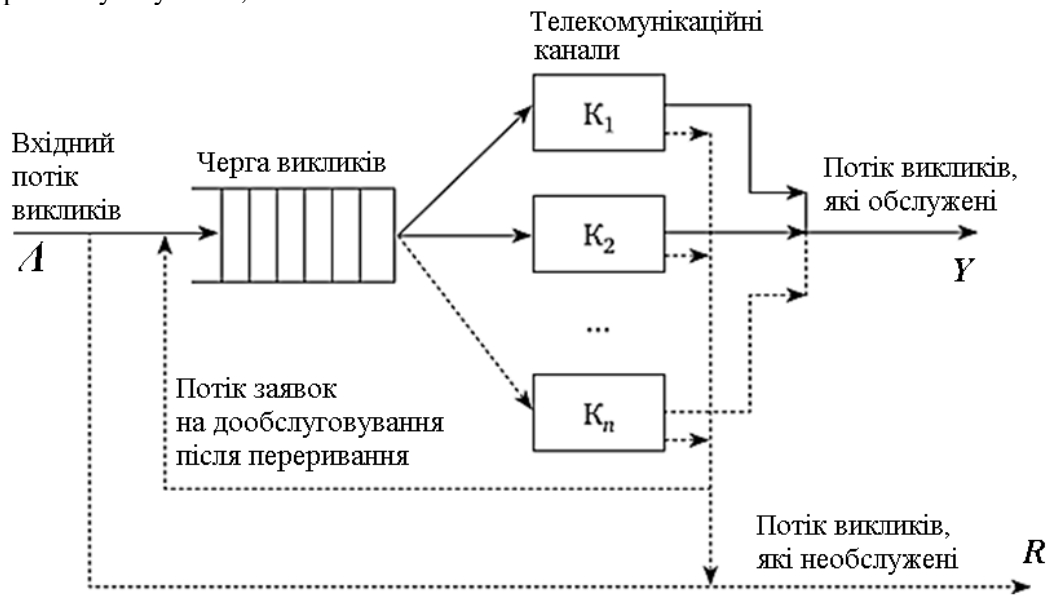


Рис. 1. Основні види навантаження для ТМЗ з втратами

Основним при розрахунках є навантаження, яке обслужене. Навантаження, що обслуговується в момент t , - це число $i(t)$ зайнятих каналів зв'язку (або величина одночасно обслуговуваних викликів) в момент t . Таке навантаження це випадкова величина, тому під час розрахунку використовують математичне очікування та дисперсію навантаження. Зокрема, математичне очікування прийнято називати інтенсивністю навантаження в момент t :

$$Y(t) = M [i(t)] = \sum_{i=1}^v iP_i(t) \quad (1)$$

де $P_i(t)$ – ймовірність зайняття i ліній v – каналної ТМЗ. Якщо прийнята постійна ймовірність P_i у межах деякого інтервалу часу формула (1) перетворюється на:

$$Y(t) = \text{const} \quad (2)$$

На практиці, коли хочуть визначити навантаження певної ТМЗ, підраховують середнє число зайнятих ліній за інтервал (t_1, t_2) і вважають це йнтенсивністю навантаження $Y(t_1, t_2)$. Як відомо [1-3], навантаження вимірюється в Ерл (ерлангах). Навантаження величиною 1 Ерл створюється 1-ю безперервно зайнятою лінією.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо приклад аналізу функціонування 5-лінійного каналу в інтервалі (t_1, t_2) , для цього на рис. 2 показано ступеневу функція $i(t)$ навантаження, яке обслужене, інтенсивність обслуженого за інтервал (t_1, t_2) навантаження $Y(t_1, t_2)$ та тривалість зайняття кожної з 5 ліній $\tau_j (j = 1 \dots 5)$.

Інтеграл функції $i(t)$ в діапазоні (t_1, t_2) описує роботу з передачі викликів (повідомлень), виконану ТМЗ за цей час. Як видно з рис. 2, робота є площею фігури, яка обмежена осями координат і функцією навантаження $i(t)$. Вона кількісно дорівнює сумарному часу зайняття усіх ліній системи за інтервал (t_1, t_2) :

$$\hat{Y}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt = \sum \tau_j(t_1, t_2) \quad (3)$$

де $\tau_j(t_1, t_2)$ – сумарний час зайняття i лінії за інтервал (t_1, t_2) .

Також можна скористатись виразом для чисельного інтегрування та вирахувати площу ламаної фігури:

$$\hat{Y}(t_1, t_2) = Y(t_1, t_2) * (t_2 - t_1) \quad (4)$$

де $Y(t_1, t_2)$ – середнього значення інтенсивності навантаження, $(t_2 - t_1)$ – довжина інтервалу.

Звідки

$$Y(t_1, t_2) = \hat{Y}(t_1, t_2) / (t_2 - t_1) \quad (5)$$

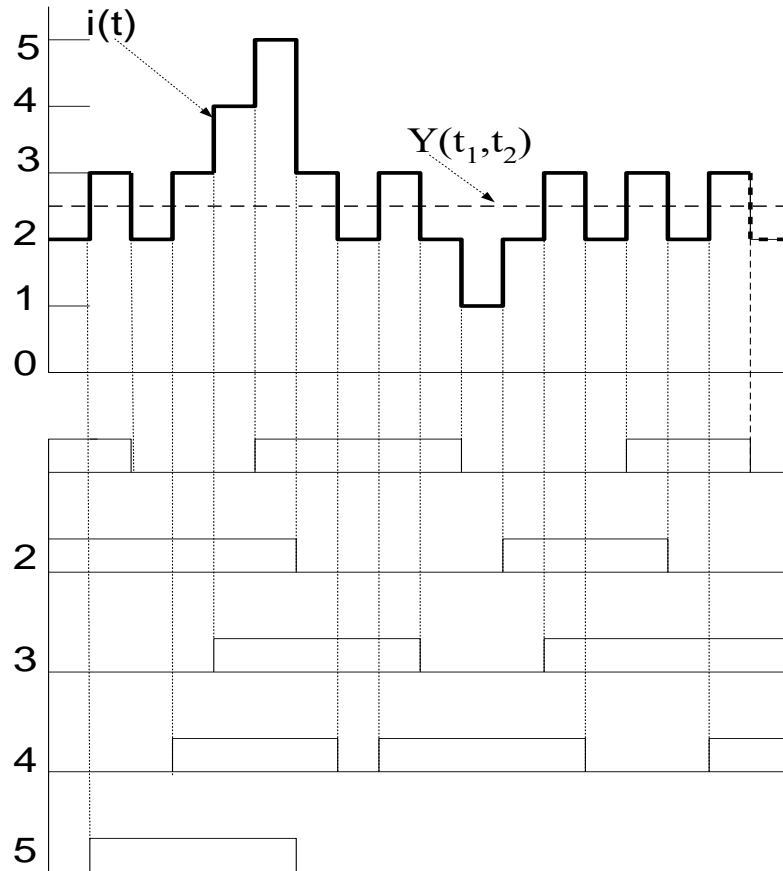


Рис. 2. Зайняття ліній зв'язку в 5-лінійному каналі

Для аналізу та дослідження ТМЗ рекомендується використовувати наступні види навантаження та роботи [1-5]: 1) « Потенційне навантаження (інтенсивність потенційного навантаження A) – розраховані для ідеальної системи, в якій кожному виклику надається негайне обслуговування ». Потенційне навантаження, як правило, забезпечує система $M_i/M/N/LL/$, де кількість каналів обслуговування рівне кількості джерел, що мають можливість генерувати виклики. При цьому за кожним джерелом закріплюється свій канал обслуговування (КО). 2) « Втрачене навантаження (інтенсивність втраченого навантаження $Y_{втр} = A - Y$) – різниця між потенційним та обслугованим навантаженням ». 3) « Робота, що надходить в ТМЗ, – сумарний час обслуговування всіх викликів, що надійшли в розглянутому інтервалі часу ». 4) « Навантаження, що надходить в ТМЗ, - похідна за часом від роботи, що надходить ». Дане навантаження кількісно дорівнює добутку миттєвої інтенсивності потоку викликів в заданий момент часу на середній час обслуговування одного виклику. Потрібно пам'ятати, вхідне навантаження це інтегральна характеристика, яка описує як потік викликів, що надходить в ТМЗ, так і можливість системи його обслужити. 5) « Надлишкове навантаження дорівнює різниці між навантаженням, що надходить, та обслугованим навантаженням (інтенсивності надлишкового навантаження $R = A - Y$) ».

Потрібно врахувати співвідношення між A і A , $Y_{втр}$ і R для різних потоків викликів. Для найпростішого потоку справедливим є $A = A$; $Y_{втр} = R$. Для примітивного потоку, що надходить в ТМЗ з явними втратами ($M_i/M/V/L$) величина інтенсивності потенційного навантаження перевищує величину інтенсивності навантаження, що надходить в ТМЗ $A > A$, оскільки джерело виклику, що отримало відмову, стає вільним і здійснює нові виклики, внаслідок чого збільшується A порівняно з A . У випадку коли примітивний потік поступає в систему з очікуванням ($M_i/M/V/W$) маємо цілком протилежний випадок: виклик, що знаходиться в черзі, уповільнює поступлення нових викликів від цього джерела, тобто $A < A$.

На практиці у формулу (1) потрібно внести окремі уточнення, зокрема якщо на інтервалі часу T відомий загальний час t_i , протягом якого в ТМЗ було зайнято кількість ліній i , то відношення t_i/T вказує на статистичну оцінку імовірності $P_i(T)$:

$$Y(T) = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^v i * t_i \quad (6)$$

де i – кількість каналів, які одночасно зайняті в ТМЗ, v – загальна кількість каналів в ТМЗ, t_i – загальний час, протягом якого було зайнято кількість ліній, яка рівна i .

Формулу (6) раціонально застосовувати для оцінки надлишкового навантаження, однак замість зайнятих ліній i потрібно використовувати кількість викликів r , які отримали відмову, а замість t_i – загальний час t_r , протягом якого не здійснено обслуговування рівно r викликів:

$$R(T) = \frac{1}{T} \sum_{r=0}^{\infty} r * t_r \quad (7)$$

У випадку, коли в системі виклики не отримують відмову:

$$Y(T) = A = \lambda * h \quad (8)$$

де λ - характеристика потоку викликів; h - середній час обслуговування потоку викликів.

Викладена вище методика використовується для аналітичного дослідження різноманітних телекомунікаційних систем зв'язку з втратами. Однак з розвитком комп'ютерної техніки та інженерії програмного забезпечення з'явилася можливість досліджувати навантаження та втрати в системі за допомогою різноманітних прикладних програм як на професійному так і навчальному рівні.

Зокрема для побудови дослідних моделей ТМЗ в середовищі «MATLAB+SIMULINK» передбачена бібліотека «SIMEVENTS», за використання якої дозволяє проектувати та моделювати та досліджувати різноманітні динамічні телекомунікаційні системи з неперервними та дискретними компонентами, які можуть генерувати дискретні події та дискретний час (рис. 3).

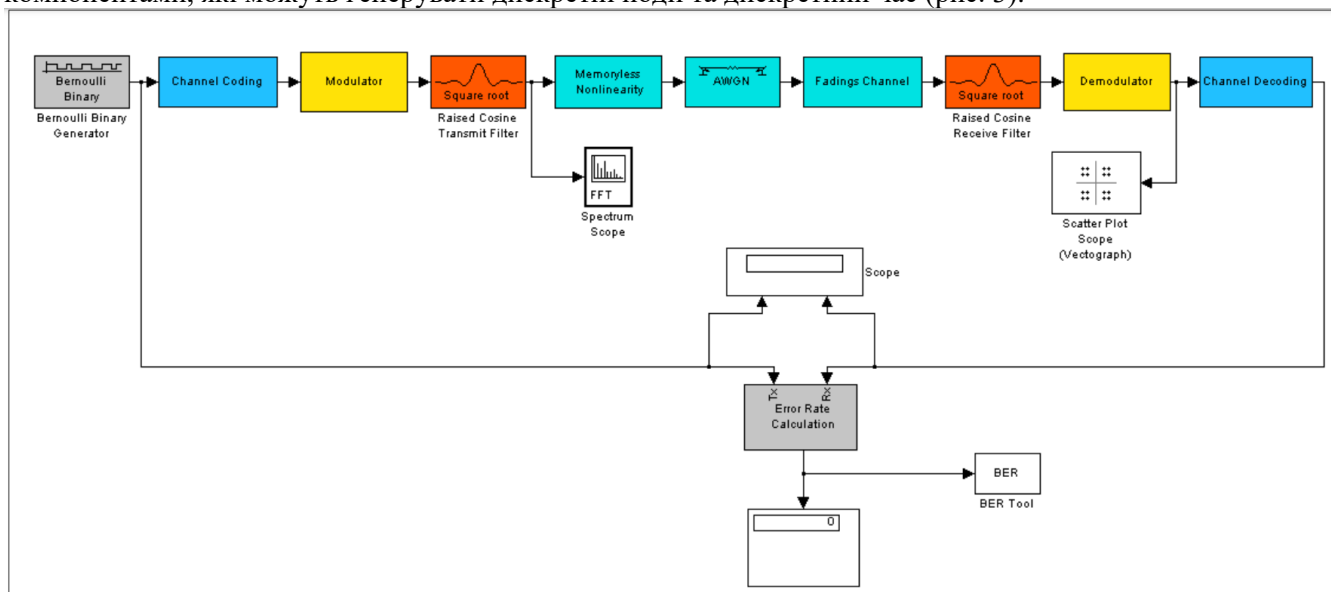


Рис. 3. Приклад побудови моделі для дослідження в «MATLAB+SIMULINK»

Для побудови складних моделей використовують також різні основні бібліотеки графічної мови «SIMULINK», такі як «MATH OPERATIONS» (математичні операції), «SIGNALS» (сигнали), «PORTS & SUBSYSTEMS» (порти та підсистеми) тощо.

Для навчальних цілей використовуються різні спеціалізовані прикладні програми, які розроблюються для вирішення окремих завдань (рис. 4).

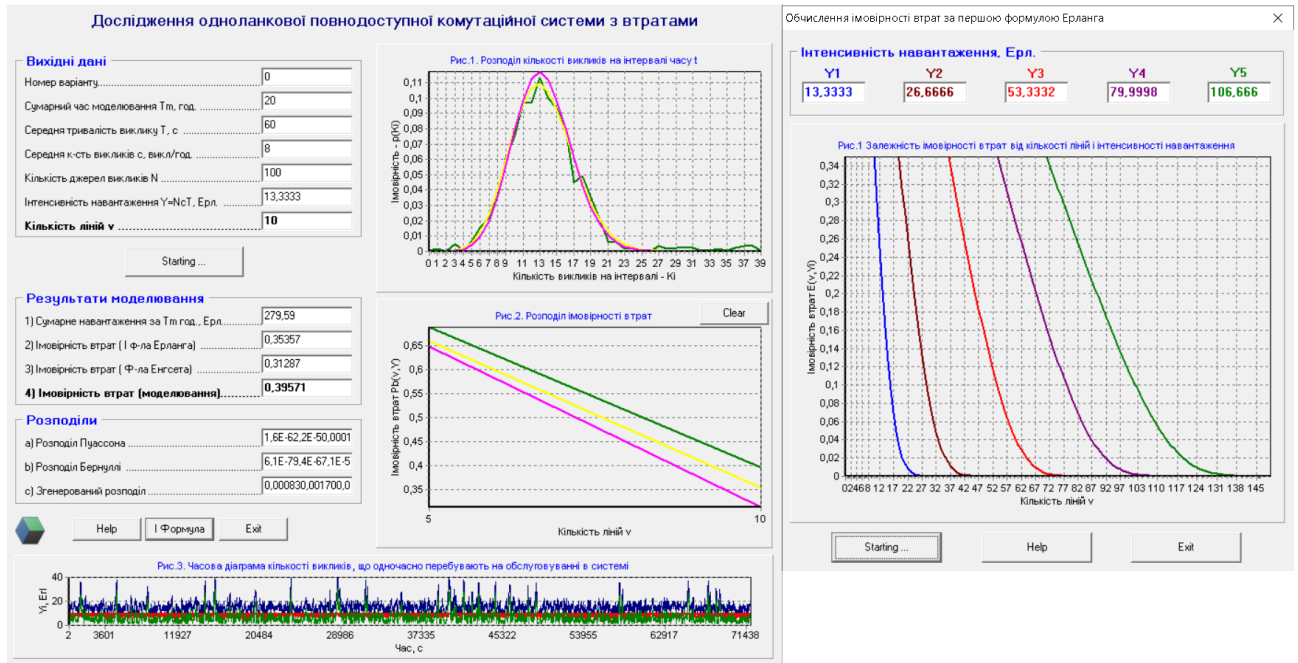


Рис. 4. Приклад прикладної програми для дослідження ТМЗ з втратами.

На рисунку поданий приклад прикладної програми, яка дозволяє здійснити дослідження одноланкової повнодоступної комутаційної системи з втратами. Зокрема змодельовані розподіли кількості викликів на заданому інтервалі часу, ймовірності втрат в системі, часова діаграма кількості викликів, що одночасно перебувають на обслуговуванні в системі. В програмі є можливість за допомогою зміни інтенсивності навантаження спостерігати за залежністю ймовірності втрат від кількості ліній.

Висновки

Отже для дослідження навантаження та витрат використовується аналітичні методи та методи комп'ютерного моделювання. Для аналітичних методів практична оцінка втрат проводиться на основі даних, які отриманні в процесі вимірювання параметрів ТМЗ. Зокрема, ймовірність втрат за викликами визначається як відношення кількості викликів, що були втрачені за розглянутий інтервал часу, та викликів, що надійшли за цей же інтервал; ймовірність втрат за часом визначається за виразом: відношення кількості суми тривалості кожного виклику в кожному каналі ТМЗ до загальної тривалості; ймовірність втрат за навантаженням визначається як відношення надлишкового навантаження ТМЗ до вхідного навантаження ТМЗ.

Для методів комп'ютерного моделювання (рисунок 4) є можливість отримати залежності втрат у ТМЗ на основі першої формули Ерланга, формули Енгсета та за результатами моделювання реального процесу здійснення викликів. Однак такі прикладні програми мають окремі недоліки, зокрема сумарний час моделювання для якого здійснюється дослідження є обмеженим. Також під час написання комп'ютерних програм для моделювання можуть бути не враховані окремі величини, що впливають на параметри ТМЗ та допущені окремі спрощення. Однак у навчальних цілях можливостей таких програм для дослідження навантаження та втрат у ТМЗ цілком достатньо.

Список бібліографічного опису

1. Ложковський А.Г. Теорія масового обслуговування в телекомунікаціях / А.Г. Ложковський. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 112 с.
2. Ложковський А.Г. Розрахунок якості обслуговування в пакетній мережі при необмеженій довжині накопичувального буфера. – К.: Зв'язок. – 2009. – №2. – С. 54–58.
3. Ложковський А.Г. Нова методика оцінювання ймовірності втрат викликів, наближена до реальних умов. – К.: Зв'язок. – 2004. – №3. – С. 52–53.
4. Воропаєва В.Я., В.І. Бессараб, В.В. Турупалов, В.В. Червинський. Теорія телерадіографіки. Навчальний посібник для студентів напрямку підготовки «телекомунікації». – Львів: Видавництво:Магнолія ДВНЗ «ДонНТУ». – 2011. – 203 с.
5. Janevski T. Traffic analysis and design of wireless IP networks. - Boston Artech House, 2003. -238 p.

6. Teletraffic engineering handbook. ITU-D SG 2/16 & ITC. Draft 2001-06-20 www.itu.int/ITU-D/studygroups. 308 p.
7. Меліков О.З., Пономаренко Л.А., Паладюк В.В. Телетрафік: Моделі, методи, оптимізація. -К.: ІПК «Політехніка», 2007. – 256 с
8. Raveendranathan K.C. Communication Systems Modeling and Simulation using MATLAB and Simulink.- Universities Press/). 2011. 448 p

References

1. A.H. Lozhkovskiy Theory of mass service in telecommunications / A.H. Lozhkovsky. – Odesa: ONAZ named after O.S. Popova, 2010. – 112 p.
2. A.H. Lozhkovskiy Calculation of the quality of service in a packet network with an unlimited storage buffer length. - K.: Communication. – 2009. – No. 2. - pp. 54–58.
3. A.H. Lozhkovskiy A new technique for estimating the probability of call loss, close to real conditions. - K.: Communication. – 2004. – No. 3. – pp. 52–53.
4. Voropayeva V.Ya., V.I. Bessarab, V.V. Turupalov, V.V. Chervinskiy Theory of teletraffic. Study guide for students of the field of "telecommunications" training. - Lviv: Publishing House: Magnolia DVNZ "DonNTU". - 2011. - 203 p.
5. Janevski T. Traffic analysis and design of wireless IP networks. - Boston Artech House, 2003. -238 p.
6. Teletraffic engineering handbook. ITU-D SG 2/16 & ITC. Draft 2001-06-20 www.itu.int/ITU-D/studygroups. 308 p.
7. Melikov O.Z., Ponomarenko L.A., Paladyuk V.V. Teletraffic: Models, methods, optimization. -К.: ІПК "Polytechnic", 2007. - 256 p
8. Raveendranathan K.C. Communication Systems Modeling and Simulation using MATLAB and Simulink.- Universities Press). 2011. 448 p