УДК 621.391.233

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ ПЛАНУВАННІ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ З РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ

к.в.н. О.В. Стороженко, В.Г. Смоляр, к.т.н. О.М. Одарущенко,
к.т.н. П.М. Гроза
(подав д.т.н., проф. Ю.В. Стасєв)

Розглядається порядок визначення розрахункового навантаження з використанням закону розподілу крайніх членів вибірки. Застосування цього закону дозволяє автоматизувати розрахунки, що зменшує час планування.

Важливість і необхідність визначення абонентського навантаження при плануванні мережі зв’язку з рухомими об’єктами (МЗРО) викликана тим, що точність подібного прогнозу дозволить вірно визначити параметри системи радіодоступу (СРД): кількість каналів радіодоступу, якість і тип комутаційного обладнання, необхідну кількість каналів у лініях прив'язки. Невідповідність реального навантаження в мережі й закладеного при плануванні кількісного складу обладнання призводить до невиконання вимог щодо пропускної спроможності, своєчасності передачі повідомлень та деяких інших показників.

Визначення інтенсивності абонентського навантаження при плануванні МЗРО належить до завдань короткотермінового планування і носить імовірний характер.

Точно передбачити значення інтенсивності навантаження теоретично неможливо навіть в статистичних годинах найбільшого навантаження (ГНН) [1]. Можна вказати лише середнє значення, а також довірчі межі змін інтенсивності навантаження і відповідну цим межам імовірність.

Тому розрахунок інтенсивності навантаження навіть за найбільш досконалою методикою припускає деяку похибку.

Метою даної статті є розробка порядку визначення розрахункового навантаження з використанням закону розподілу крайніх членів вибірки.

Успіх прогнозування визначається, перш за все, двома факторами:

– відповідністю використовуваної моделі реальним умовам;
– достовірністю вихідних параметрів моделі.

Загальновідомим є факт коливань навантажень в мережах зв'язку. Для врахування цих коливань намагаються спроектувати мережу так, щоб з імовірністю P (наприклад, з імовірністю $P = 0,75$ [2]) втрати в мережі не перевищували допустимого значення $P_{втр.доп.}$ (наприклад, норми втрат $P_{втр.\ доп.} = 0,005$ [2]).

Це завдання може бути вирішене так: знаходять таке значення навантаження Y_p (розрахункове навантаження), яке з імовірністю P не перевищує істинне (випадкове) значення навантаження. Потім розраховують мережу так, щоб при навантаженні Y_p втрати дорівнювали $P_{втр.доп.}$. Тоді, зрозуміло, з імовірністю P втрати будуть не вище $P_{втр.доп.}$.

Іншими словами, для даної ймовірності розрахункове значення навантаження Y_p визначається за наступним рівнянням [3]:

$$F(\, Y < Y_p \,) = 0{,}75 \,, \tag{1}$$

де $F(Y)$ – функція розподілу навантаження в ГНН різних днів.

Саме на підставі розрахункового навантаження і проводиться розрахунок мереж зв'язку, що дозволяє враховувати коливання поступаючого навантаження в ГНН.

Такий підхід до визначення розрахункового навантаження ґрунтується на побудові (відновленні) невідомої функції розподілу навантаження в ГНН різних днів $P(Y)$ за даними вимірів і визначенні із неї значення Y_p, яке задовольняє рівняння (1).

Характерною особливістю даної задачі є те, що закон функції розподілу навантаження в ГНН для конкретного елементу мережі, як правило, апріорі невідомий, є лише обмежений набір статистичних даних.

Існує кілька методів вирішення цього завдання. Найбільш простим є визначення розрахункового навантаження за формулою [4]:

$$Y_p = Y + 0{,}6742\sqrt{Y} \,, \tag{2}$$

де Y_p – розрахункове значення навантаження в ГНН; Y – математичне сподівання поступаючого навантаження в ГНН.

Застосування формули (2) для розрахунку Y_p здається проблематичним з двох причин: по-перше, незрозуміло, як бути, коли потрібно розрахувати Y_p, виходячи з іншої ймовірності P, відмінної від 0,75; по-друге, як правило, величина Y апріорі невідома.

Є інші, більш складні методи. Так, у [5] наводиться метод, який дозволяє за допомогою рівнянь регресії за виміряним навантаженням будь-якої доби визначити навантаження в ГНН і розрахункове навантаження. Однак, він має дещо частковий характер.

В [3] пропонується для вирішення даного завдання застосувати непараметричні методи відновлення щільності ймовірності та функції розподілу випадкових величин. Ці методи дозволяють одержувати прийнятні для практичних цілей оцінки з невеликої кількості зареєстрованих реалізацій випадкової величини. Проте, запропонований алгоритм розрахунку за даним методом складно автоматизувати при використанні комп'ютера в процесі проектування.

Найбільш ефективним можна вважати застосування закону розподілу крайніх членів вибірки, викладеному в [6] для визначення екстремальних значень навантаження. Даний закон передбачає: поставити у відповідність екстремальним значенням навантаження ймовірності їх одержання на практиці, тобто розглянути розподіл ймовірностей цих величин.

Відповідно теорії крайніх членів вибірки лише три типи законів розподілу можуть бути граничними для крайніх членів вибірки. Два з цих граничних типів мають велике практичне значення. Один з них – розподіл третього типу для крайніх членів послідовності незалежних величин. Ці розподіли характерні для тих випадків, коли розподіли величин послідовності мають межі. Наприклад, коли кожна величина набуває лише значення, яке лежить у відповідному відрізку (*а, в*).

Другий з них – це, так званий, подвійний показовий закон або закон розподілу першого типу. Даний закон застосовується тоді, коли випадкова величина Y_1 розподілена у безкінечному інтервалі, і мінімум або максимум її може набувати скільки завгодно більшого за абсолютною величиною значення.

Оскільки на практиці складно вказати межі змінювання вхідного навантаження, більш прийнятним для розрахунків здається закон розподілу першого типу. Загальний вигляд закону першого типу подається наступною формулою [6]:

$$P_{1,n}\left(y\right)=e^{-e^{-x}}, \tag{3}$$

де $x = a\,(y - q),\ a > 0$ *і* q – деяка константа.

Розглянемо застосування закону першого типу розподілу крайніх членів вибірки для визначення екстремальних значень вхідного навантаження в МЗРО. У порядку наближення припустимо, що виміряні значення навантаження в ГНН різних днів є крайніми членами досить широкої послідовності незалежних величин (наприклад, значення навантаження по годинах), які підпадають під один і той же закон розподілу.

Ясно, що такі припущення лише наближено відповідають дійсності, оскільки насправді близькі за часом значення величин, що розглядаються, залежні між собою. А для значень, які розділені великими проміжками часу, закони розподілу можуть значно відрізнятися один від одного. І все ж, як показує досвід [6], закономірність, яка відповідає закону розподілу $P_{1,n}\,(Y)$, може виявлятися досить точно. Ця обставина дає можливість шляхом належної обробки спостережень робити певні прогнози про ймовірності, з якими навантаження в ГНН перевищує ту чи іншу межу.

Розглянемо спочатку питання про те, як зіставити дані спостережень з теоретичною функцією розподілу і оцінити параметри останньої.

Порядок застосування закону розподілу (3) призводить до побудови графіка залежності значень Y досліджуваних максимумів або мінімумів від нормованих відхилень x, які представляють аргументи функції $e^{-e^{-x}}$. При цьому шкали для Y і x, як правило, обираються лінійні. Паралельно до основної (лінійної) шкали x будується додаткова функціональна шкала, на якій при дослідженні максимумів значенням x відповідають значення функції $f\left(y\right)=e^{-e^{-x}}$, що описують закон $P_{1,n}(Y)$.

Значення функції $f(x)$ можна одержати або з таблиці, яка наводиться в [6], або з рівняння:

$$\lg\left[-\lg f\left(x\right)\right]=-x\lg e+\lg\lg e=-0{,}43429x-0{,}36222, \tag{4}$$

звідки

$$x=-2{,}30261\lg\left[-\lg f\left(x\right)\right]-0{,}83405. \tag{5}$$

Додаткова шкала $f(x)$ буде нелінійною.

На горизонтальній осі графіка відкладаються спостережні значення Y максимумів. Сукупність точок, що відповідають на графіку проведеним спостереженням, апроксимується відповідною лінією, яка і дозволяє прогнозувати значення максимумів, що тотожні вибраним ймовірностям.

Якщо знати, якому значенню ймовірності $P_{1,n}(Y)$ відповідає спостережене значення Y, то можна мати точну лінійну залежність $x = a\cdot(Y-q)$, де a і q – параметри розподілу.

Звичайно, в дійсності ми не знаємо ймовірності $P_{1,n}(Y)$ для кожного спостережуваного значення Y_k. Проте в [6] показано, що якщо побудувати варіаційний ряд величин Y:

$$Y_1 < Y_2 <\ldots< Y_k <\ldots< Y_N\,, \tag{6}$$

то ймовірності $P_{1,n}(Y)$ у відповідних точках будуть

$$P_{1,n}(Y_1) < P_{1,n}(Y_2) <\ldots< P_{1,n}(Y_k) <\ldots< P_{1,n}(Y_N). \tag{7}$$

Спираючись на вірне рівняння

$$P_{1,n}\left(Y_k\right)=\frac{k}{N+1}\,, \tag{8}$$

де $k = 1,2,\ \ldots\ , N,$ при досить великих N визначимо далі значення $x = x_k$, які відповідають $k/\left(N+1\right)$ (так, що $f\left(x_k\right)=k/\left(N+1\right)$). Одержимо точки $Q\ (x_k,\ Y_k)$, які лежать поблизу теоретичної прямої $x = a\ (Y-q)$ або $Y = {}$ ${}=q+x/a$ і відхиляються від неї лише у зв'язку з a випадковими помилками.

Оцінку параметрів a і q проводять в такому порядку:

– розраховують середнє арифметичне $\overline{Y}$ і середнє квадратичне відхилення S_y за всіма N спостереженнями:

$$\overline{Y}=\frac{\sum\limits_{k=1}^{N}Y_k}{N}\,; \tag{9}$$

$$S_y=\sqrt{\frac{\sum\limits_{k=1}^{N}Y_k^2-\dfrac{\left(\sum\limits_{k=1}^{N}Y_k\right)^2}{N}}{N}}\,; \tag{10}$$

– розраховують середнє значення $\bar{x}_N$ і середнє квадратичне відхилення δ_N величин x_k ($k = 1, \ldots, N$) або визначають ці значення з таблиці [6];

– знаходять оцінку $\hat{a}$ для параметра a :

$$\hat{a} = \frac{\delta_N}{S_y}; \tag{11}$$

– розраховують оцінку $\hat{q}$ для параметра q:

$$\hat{q} = \bar{Y} - \frac{\bar{x}_N}{\hat{a}}. \tag{12}$$

Рівняння апроксимуючої прямої записують у вигляді:

$$Y = \hat{q} + \frac{x}{\hat{a}}. \tag{13}$$

Розглянемо приклад. В табл. 1 наведені результати двотижневих вимірів навантаження в ГНН на пучку каналів телефонної мережі [3] та квадрати навантажень, необхідні для наступних розрахунків.

Таблиця 1

Значення навантаження в ГНН (Ерл.)

День вимірів	Y	Y^2	День вимірів	Y	Y^2
1	3,1	9,61	6	6,8	46,24
2	3,4	11,56	7	6,3	39,69
3	4,9	24,01	8	4,1	16,81
4	6,1	37,21	9	3,7	13,69
5	7,3	53,29	10	2,9	8,41

Пропонується визначити максимально можливе значення навантаження в ГНН з імовірністю не менше 0,95, а також значення розрахункового навантаження, що визначається за рівнянням (1).

У відповідності з викладеним порядком розрахунку дані табл. 1 розташуємо у варіаційний ряд значень Y_k ($k = 1, 2, \ldots, N$) і занесемо їх в табл. 2. Для кожного значення Y_k обчислимо величину $k/(N+1)$. Прирівняємо цю величину значенням функцій $f(x_k)$ із співвідношення (5) або з таблиці у [6]. Потім знаходимо значення величини x_k і заносимо їх до табл. 2. Дані табл. 2 наносимо у вигляді точок (Y_k, x_k) на побудований у координатах (Y, x) описаним вище способом графік (рис. 1). На цей графік наносимо наближену пряму, яка описує залежності між значеннями навантаження в ГНН $k/(N+1)$, з одного боку, та ймовірностями $P_{1,n}(Y) = f(\bar{x})$, що їм відповідають, і нормованими відхиленнями (x), з другого.

Таблиця 2

Варіаційний ряд значення навантаження в ГНН (Y_k)**,** значення нагромаджених частот $\left(k/(N+1)\right)$, нормовані відхилення (x_k)

k	$k/11$	X_k	x_k^2	Y_k	k	$k/11$	X_k	x_k^2	Y_k
1	0,090	-0,879	0.773	2,9	6	0,545	0,499	0,249	4,9
2	0,182	-0,533	0,284	3,1	7	0,636	0,793	0,629	6,1
3	0,273	-0,261	0,068	3,4	8	0,727	1,143	1,306	6.3
4	0,364	-0,011	0.0001	3,7	9	0,818	1,605	2,576	6,8
5	0,455	0,239	0,057	4,1	10	0,909	2,350	5,523	7,3

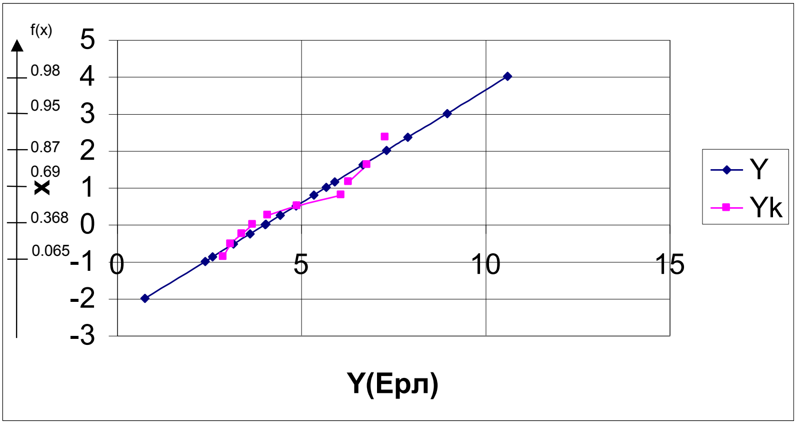

Рис. 1. Аналіз даних табл. 2

Для цього:

– за даними табл. 1 і за формулами (8) і (9) визначаємо середнє арифметичне значення $\overline{Y}$ і його середнє квадратичне відхилення:

$$\overline{Y} = 4{,}86\text{, Ерл.;} \quad S_y = \sqrt{\frac{260{,}52 - 236{,}196}{10}} = 1{,}560\text{, Ерл.;}$$

– за даними табл. 2 визначаємо середнє арифметичне значення x і його середнє квадратичне відхилення δ:

$$\overline{Y} = \frac{\sum_{k=1}^{N} Y_k}{N} = 4{,}86\text{, Ерл.;}$$

$$\delta = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^{N} x_k^2 - \left(\sum_{k=1}^{N} x_k\right)\Big/N\right)\Big/N} = \sqrt{\frac{11,465-2,445}{10}} = 0,950;$$

– застосовуючи формули (10), (11), знаходимо оцінки параметрів a і q у рівнянні $Y = q + \dfrac{x}{a}$:

$$\hat{a} = \frac{\delta}{S_y} = \frac{0,950}{1,560} = 0,609; \quad \hat{q} = \bar{Y} - \frac{\bar{x}}{\hat{a}} - 4,86 - 0,4945 * 1,642 = 4,048.$$

Очікуване рівняння буде мати вигляд: $Y = 1,642 \cdot x + 4,048$.

Наносимо цю пряму на графік (рис. 1), продовжуючи її до значення ординати, яка відповідає $P_{1,n}(Y) = f(x) = 0,999$. За графіком знаходимо, що максимально можливе значення навантаження в ГНН з імовірністю 0,95 складає 8,8 Ерл. Значення розрахункового навантаження $Y_p = 6,4$ Ерл.

Таким чином, застосування закону розподілу крайніх членів вибірки дає можливість визначити з імовірністю, яка вимагається, максимально можливе значення навантаження в ГНН в проектованій мережі, а також значення розрахункового навантаження з потрібною ймовірністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Корнышев Ю.Н., Фань Г. Л. Теория распределения информации: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1985. – 184 с.*
2. *Лившц Б.С., Фидлин Я.В. Теория телефонных и телеграфных сообщений. – М.: Связь, – 1971. – 304 с.*
3. *Семенюта А.Н. Метод определения расчетной нагрузки для элементов ведомственных телекоммуникационных сетей // Электросвязь. – 1998. – № 2. – С. 39 – 40.*
4. *НИР "Методика". – К.: НИЦ при КВВИУС –1989. – 67 с.*
5. *Семенюта Н.Ф., Щуплякова Г.Й., Семенюта А.Н. К расчету нагрузки на телеграфной сети // Электросвязь. – 1992. – № 6. – С. 34 – 35.*
6. *Смирнов Н.В., Дунин-Барковский Й.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, – 1965. – 511 с.*

Надійшла 16.09.2002

СТОРОЖЕНКО Олександр Васильович, *канд. військ. наук, нач. кафедри Полтавського ВІЗ. Закінчив Полтавське вище військове командне училище зв'язку в 1983 році. Область наукових інтересів – підвищення ефективності мереж радіозв'язку.*

СМОЛЯР Віктор Григорович, *ад'юнкт ПВІЗ. В 1990 році закінчив Київське ВВІУЗ. Область наукових інтересів – підвищення ефективності системи радіозв'язку.*

ОДАРУЩЕНКО Олег Миколайович, *канд. техн. наук., нач. кафедри Полтавського ВІЗ. Область наукових інтересів – підвищення ефективності мереж передачі інформації.*

ГРОЗА Петро Миколайович, *канд. техн. наук, начальник науково-випробувальної лабораторії Полтавського ВІЗ. Область наукових інтересів – підвищення ефективності мереж передачі інформації.*