

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

**МАЄВСЬКИЙ ОЛЕКСІЙ  
ВІКТОРОВИЧ**



УДК 004.942 + 519.876.5

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
АНАЛІЗУ СТОХАСТИЧНО ПЕРІОДИЧНИХ ПОТОКІВ**

05.13.06 – інформаційні технології

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**дисертації на здобуття наукового ступеня**  
**кандидата технічних наук**

Тернопіль – 2017

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник** – доктор технічних наук, професор  
**Приймак Микола Володимирович**,  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя,  
завідувач кафедри комп'ютерних наук.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент  
**Стеценко Інна Вячеславівна**,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
професор кафедри автоматизованих систем обробки  
інформації і управління;

доктор технічних наук, професор  
**Міщенко Віктор Олегович**,  
Харківський національний університет  
імені В.Н. Каразіна,  
професор кафедри моделювання систем і технологій.

Захист відбудеться 22 лютого 2017 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К58.052.06 в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, ауд. 58.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий 11 січня 2017 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої  
ради



Фриз М.Є.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Одним із напрямків розвитку інформаційних технологій є аналіз та дослідження різноманітних сигналів, оцінка інформативних параметрів. Чільне місце серед досліджуваних сигналів займають потоки подій, наочними прикладами яких є виклики у диспетчерські служби швидкої допомоги, підключення споживачів електроенергії, звернення в різноманітні системи масового обслуговування (СМО). В останні десятиліття множина потоків поповнилася ще одним їх видом – потоками звернень до мережі Інтернет.

Потоки іноді розглядають як окремих об'єкт дослідження, проте в більшості випадків до них звертаються при вивченні СМО. Найбільш дослідженими є найпростіші потоки – стаціонарні пуассонівські потоки. Основи теорії потоків закладені в працях А. Ерланга, О. Хінчина. Вагомий внесок у розвиток цього напрямку зробили К. Пальма, Ф. Плачек, В. Феллер, Д. Кокс, В. Сміт, Б. Гнеденко, І. Коваленко, М. Бусленко, Дж. Кінгман, Т. Сааті, О. Вентцель та інші науковці. Для найпростіших потоків розроблені методи їх статистичного аналізу, вирішена також низка завдань СМО за умови, що вхідний потік є найпростішим.

Разом з тим слід відзначити, що при спостереженні потоків достатньо тривалий інтервал часу, для багатьох із них умова стаціонарності порушується. Серед нестаціонарних потоків увагу спеціалістів привертають потоки, характерною ознакою яких є стохастична періодичність з можливими періодами доба, тиждень, рік. Такими є вхідні потоки більшості СМО, наприклад, виклики у диспетчерські служби швидкої допомоги, підключення споживачів електроенергії. На відміну від стаціонарних, стохастично періодичним потокам (СПП) уваги приділялося значно менше. Звертаючись до них, переважно обмежуються випадками, коли їх інтенсивність подається у вигляді суми синусоїдальної функції і постійної величини. При цьому, обґрунтування моделі СПП пуассонівського типу та розробка на цій основі інформаційних технологій їх обробки, аналіз впливу таких потоків на функціонування СМО (наприклад, центрів екстреної медичної допомоги), проведення комп'ютерного експерименту для перевірки адекватності моделей та методів їх аналізу, залишаються не дослідженими. Подібна ситуація спостерігається і стосовно ще одного класу потоків – стохастично періодичних рекурентних потоків.

Таким чином, задача розробки інформаційних технологій аналізу СПП пуассонівського та рекурентного типів є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано на кафедрі комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені І. Пулюя в рамках виконання науково-дослідних тем «Інформаційні технології статистичного аналізу і прогнозу ритмічних сигналів їх застосування для оптимізації управління енергонавантаженнями» (ДР №0102U002297), «Розробка на основі періодичних ланцюгів Маркова методів статистичного аналізу і прогнозу графіків енергонавантажень» (ДР №0105U000743), «Інформаційно-обчислювальна система обліку, аналізу та прогнозу енергоносіїв в задачах підвищення ефективності енергозбереження» (ДР №0110U002262).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є створення інформаційних технологій аналізу стохастично періодичних потоків пуассонівського

і рекурентного типів, які дають можливість підвищити ефективність відповідних систем масового обслуговування, що функціонують в умовах ритміки.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Обґрунтувати концепцію розробки інформаційної технології аналізу стохастично періодичних потоків пуассонівського типу за схемою «модель – алгоритм – програма – прикладне застосування – комп'ютерний експеримент».
2. Визначити новий клас потоків – періодичні пуассонівські потоки, виділити із них клас періодичних пуассонівських кусково стаціонарних потоків і побудувати оцінку їх інтенсивності.
3. Закласти основи теорії рекурентних потоків з неперервним аргументом та побудувати модель СПП рекурентного типу, придатну для оцінки її інтенсивності та імітаційного моделювання.
4. Розробити метод гістограмного аналізу СПП і процесів.
5. Застосувати методи дослідження СПП і процесів для обробки реальних потоків.
6. Розробити комп'ютерний експеримент як складову інформаційної технології для перевірки адекватності моделей та правильності методів аналізу стохастично періодичних пуассонівських і рекурентних потоків.

**Об'єкт дослідження** – стохастично періодичні потоки подій в системах масового обслуговування.

**Предмет дослідження** – інформаційні технології аналізу стохастично періодичних потоків, в основі яких лежить схема «модель-алгоритм-програма-прикладне застосування-комп'ютерний експеримент».

**Методи дослідження** базуються на використанні теорії випадкових процесів і математичної статистики, методів імітаційного моделювання, програмування та комп'ютерного експерименту.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Вперше обґрунтовано модель СПП пуассонівського типу як основну складову інформаційної технології у вигляді періодичного пуассонівського потоку, яка на відміну від відомих моделей, що ґрунтуються на періодичності інтенсивності потоку, враховує періодичність ймовірності приростів потоку і тим вказує на причину виникнення періодичної інтенсивності та надає можливість розробки методу її оцінки.
2. Вперше доведено, що однозначну оцінку інтенсивності пуассонівського потоку можна отримати лише у випадку, коли інтенсивність залежить тільки від одного невідомого параметра. На основі цього твердження із множини періодичних пуассонівських потоків вперше виділено клас періодичних пуассонівських кусково стаціонарних потоків, які використано як модель реальних потоків та побудовано оцінку їх періодичної інтенсивності.
3. Вперше дано означення інтервального випадкового процесу, і на його основі обґрунтовано модель стохастично періодичних рекурентних потоків у вигляді періодичних рекурентних кусково стаціонарних потоків, для яких, подібно до періодичних пуассонівських кусково стаціонарних потоків, можливо знаходити оцінку їх інтенсивності та здійснювати їх імітаційне моделювання.

4. Вперше розроблено метод імітаційного моделювання періодичних пуассонівських кусково стаціонарних потоків, що входить в комп'ютерний експеримент.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані результати теоретичних досліджень стохастично періодичних пуассонівських і рекурентних потоків доведені до остаточних розрахунків і програмних продуктів. До результатів, які мають практичне застосування, належать:

1. Програмне забезпечення як складова інформаційної технології знаходження оцінки інтенсивності періодичних пуассонівських кусково стаціонарних потоків, використання якого в диспетчерських службах швидкої допомоги надає можливість підвищення ефективності їх функціонування шляхом вироблення рекомендацій щодо оптимізації кількості обслуговуючих одиниць залежно від години доби, пори року тощо.

2. Програмне забезпечення, що входить в інформаційну технологію, для оцінки періодичних ймовірнісних характеристик (математичного сподівання, середньоквадратичного відхилення, матриць переходів) графіків споживання електроенергії надає можливість диспетчерським службам електропостачальних систем здійснювати розрахунок прогнозних графіків електроспоживання, що є одним із шляхів вирішення задач енергозбереження.

3. Гістограмний аналіз СПП, що дозволяє визначити тип розподілу інтервалів потоку, вибрати відповідний метод його дослідження та використовувати отримані результати аналізу для задач оптимізації відповідних СМО.

4. Методика проведення комп'ютерного експерименту, як елементу інформаційної технології, дозволяє здійснювати перевірку адекватності моделей та методів аналізу СПП пуассонівського і рекурентного типів. При цьому позитивний результат перевірки підтверджує можливість використання розроблених програмних продуктів для дослідження реальних потоків, негативний вказує на необхідність доопрацювання чи вдосконалення моделі та методів аналізу.

5. Методи аналізу СПП та процесів, отримані із використанням розробленого програмного забезпечення як складової інформаційної технології рекомендовані до використання в СМО з метою підвищення ефективності їх функціонування.

Результати дисертаційної роботи впроваджено і використовуються:

- у комунальному закладі Тернопільської обласної ради «Центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф»;
- у Тернопільському міському РЕМі;
- у комунальному закладі Тернопільської обласної ради «Тернопільська університетська лікарня» (Тернопільська обласна лікарня);
- в навчальному процесі ТНТУ ім. І. Пулюя, на кафедрі комп'ютерних наук при проведенні лекційних і лабораторних робіт з курсів «Методи та системи підтримки прийняття рішень», «Технології підтримки прийняття рішень», «Інтелектуальний аналіз даних», «Моделювання систем», «Основи теорії інформації», «Системи масового обслуговування», «Теорія прийняття рішень», «Чисельні методи».

**Особистий внесок здобувача.** Наукові положення та основні результати, які містяться в дисертації, отримані здобувачем самостійно. В роботах, опублікованих у

співавторстві, дисертанту належать: [1] – обґрунтування однієї із причин, що породжує стохастичну періодичність СМО; [2] – написання програмного забезпечення для оцінки періодичного математичного сподівання для графіків споживання електроенергії як складову інформаційної технології; [3] – розробка методу оцінки інтенсивності періодичного пуассонівського потоку; [4, 5] – написання програмного забезпечення гістограмного аналізу магнітних збурень із урахуванням їх добової періодичності як складової інформаційної технології; [7] – розробка схеми комп'ютерного експерименту для аналізу СПП як елементу інформаційної технології; [8] – обґрунтування можливості використання періодичних ланцюгів Маркова для опису стохастично періодичних систем марківського типу; [9, 11] – обґрунтування впливу збурень магнітного поля Землі на інтенсивність захворюваності людей; [12] – розробка алгоритму оцінки густини ймовірностей періодичного процесу; [13, 20] – розробка методу оцінки математичного сподівання водоспоживання з урахуванням добової періодичності; [16-18, 23-25, 28, 29] – обґрунтування моделі СПП пуассонівського типу та методів їх аналізу; [19] – розроблення способу аналізу тривалостей обслуговування вимог для стохастично періодичних СМО; [26] – розробка класифікації рекурентних потоків; [30] – розробка алгоритму моделювання кардіосигналів.

**Апробація результатів дисертації.** Результати роботи опубліковано та обговорювались на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях, зокрема на: V Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційно-діагностичні системи» (м. Київ, 2003 р.); Всеукраїнській науковій конференції «Сучасні проблеми теорії ймовірностей та математичного аналізу» (м. Івано-Франківськ, 2012 р.); Шостій міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси ПРТК-2013» (м. Київ, 2013 р.); 15-й і 17-й Міжнародних наукових конференціях ім. акад. М. Кравчука (м. Київ, 2014 р., 2016 р.); Міжнародних науково-технічних конференціях Харківського національного університету ім. В. Каразіна (м. Харків, 2014 р., 2016 р.); XII Міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2014)» (м. Вінниця, 2014 р.); об'єднаному засіданні міжнародного наукового семінару «Чисельне моделювання методами дискретних особливостей в математичній фізиці» і секції «Математичне моделювання фізичних і технологічних процесів» Міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерне моделювання в наукоємних технологіях» (КМНТ-2016) ХНУ ім. В. Каразіна (м. Харків, 2016 р.).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 30 наукових праць: 8 статей у фахових виданнях України, 1 з них одноосібна, чотири – входять до наукометричних баз даних з міжнародним індексом цитування Scopus, Ulrich's Web GlobalSerials Directory, EBSCOhost databases, Index Copernicus, РИНЦ, 22 тези доповідей у збірниках матеріалів конференцій, а також 3 звіти з НДР.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5-ти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 185 сторінок, з яких 167 сторінок основного тексту, додатків на 18 сторінках, список літератури налічує 116 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано наукову новизну отриманих результатів, їх практичне значення, а також розкрито питання апробації результатів дисертації та їх висвітлення в наукових працях.

**Перший** розділ присвячений огляду існуючих інформаційних технологій аналізу СПП. Вважалося, що дослідження потоків, як невід'ємної складової СМО, бере свій початок із робіт датського інженера А. Ерланга, що відносяться до 1908 – 1922 рр. Проте вивчення потоків має давнішу історію, про що свідчать дослідження інтенсивності появи сонячних плям, у першу чергу, знаходження періоду їх повторюваності. В 1843 році Г. Швабе обчислив, що для інтенсивності плямоутворення її середній період  $T \approx 10$  років. Пізніше Х. Вольф отримав значення періоду  $T \approx 11$  років.

Найбільш вивченими є найпростіші потоки, тобто потоки, що задовольняють умовам стаціонарності, відсутності післядії та ординарності. Для найпростішого потоку  $\xi(t)$  ймовірність того, що за проміжок часу тривалістю  $\tau$  відбудеться  $s$  подій, визначається формулою

$$P\{\xi(t, \tau) = s\} = \frac{(\lambda \tau)^s}{s!} e^{-\lambda \tau}, \quad s = 0, 1, \dots, \quad (1)$$

де  $\xi(t, \tau) = \xi(t + \tau) - \xi(t)$  – приріст потоку, тобто число подій, що відбулися за часовий інтервал  $[t, t + \tau]$ . Параметр  $\lambda$  – це інтенсивність потоку, і визначається як середнє число подій, що відбулися за одиницю часу:  $\lambda = M\xi(t, 1)$ . Оскільки розподіл (1) є розподілом Пуассона, найпростіший потік ще називають стаціонарним пуассонівським потоком.

Умови, які призводять до найпростішого потоку, можуть порушуватися, зокрема, часто порушується умова стаціонарності. Для нестаціонарного потоку його інтенсивність  $\lambda$  вже є деякою функцією часу і визначається за формулою

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M[\xi(t + \Delta t) - \xi(t)]}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M[\xi(t, \Delta t)]}{\Delta t} = m'(t), \quad (2)$$

де  $m(t) = M\xi(t)$  – математичне сподівання потоку.

Серед нестаціонарних потоків практичну значимість мають СПП, тобто потоки, для яких періодичними є їх певні ймовірнісні характеристики. Такими є вхідні потоки більшості СМО. Для прикладу, на рис. 1 зображено вхідний потік звернень у диспетчерський пункт швидкої допомоги Тернополя протягом трьох днів у лютому та червні 2015 р.

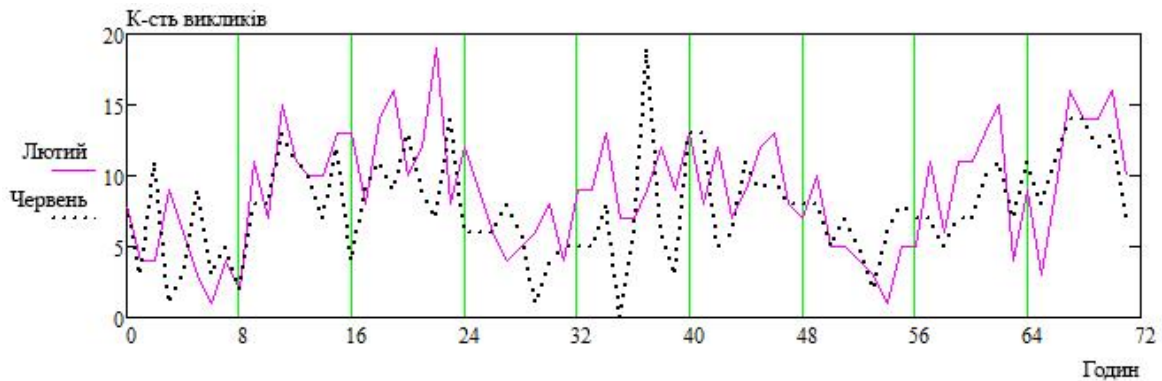


Рисунок 1 – Кількість викликів за годину протягом трьох днів лютого та червня 2015 р.

Аналізуючи рис. 1, бачимо, що хоча повна повторюваність значень інтенсивності потоку через період  $T = 24$  год. відсутня, але при цьому спостерігається приблизна повторюваність характерних особливостей потоку: їх мінімальні та максимальні значення; час появи цих значень; тривалості росту і спаду інтенсивності потоку тощо.

При дослідженнях стохастично періодичних пуассонівських потоків переважно обмежуються випадками, коли їх інтенсивність  $\lambda(t)$  є деякою періодичною синусоїдальною функцією, наприклад,  $\lambda(t) = 2\lambda \sin^2 at = \lambda(1 - \cos 2at)$ . Проте припущення про періодичну інтенсивність не можна вважати моделлю потоку. Наголосимо, що у співвідношенні «потік – інтенсивність потоку» первинним є поняття потоку, а інтенсивність та її властивості визначаються на основі визначення потоку. Відсутність моделі СПП пуассонівського типу є причиною відсутності інформаційних технологій їх аналізу за винятком деяких найпростіших випадків. Подібною є ситуація і щодо СПП рекурентного типу.

Визначено, що крім розгляду СПП значна кількість задач виникає при дослідженні СМО, що функціонують в умовах стохастичної періодичності. При цьому основною причиною виникнення стохастичної періодичності СМО є їх стохастично періодичні вхідні потоки.

Зауважимо також, що розробляючи інформаційні технології, які ґрунтуються на певних математичних моделях потоків, постають питання про адекватність моделей та правильність методів їх аналізу. Одним із засобів для відповіді на подібні питання є комп'ютерний експеримент. Проте на даний час можливості експериментальних перевірок моделей СПП практично відсутні.

На основі проведеного аналізу щодо стану і можливостей дослідження СПП сформульовано ряд завдань, що підлягають вирішенню.

В **другому** розділі розглянуто питання розробки інформаційної технології аналізу СПП пуассонівського типу, причому розробка здійснюється за схемою «модель-алгоритм-програма-прикладне застосування-комп'ютерний експеримент», яке наведено на рис. 2. Основоположним у цьому підході є перший етап – побудова нової моделі потоку, оскільки від адекватності об'єкта і його моделі залежить успішність розв'язку задач наступних етапів.



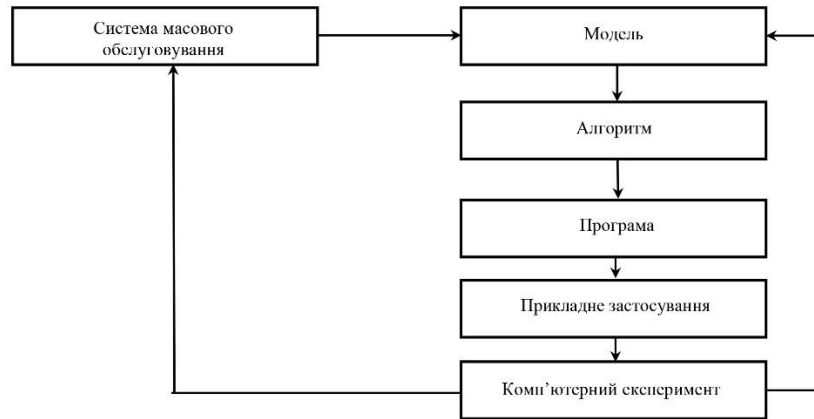


Рисунок 2 – Схема інформаційної технології для аналізу СПП

При пошуку моделі СПП пуассонівського типу за вихідну модель вибрано клас випадкових процесів з незалежними періодичними приростами, введений в роботі О. Красильникова, Б. Марченка, М. Приймака «Процеси з незалежними періодичними приростами і періодичні білі шуми», 1996 р.

**Означення 1.** Випадковий процес з незалежними приростами  $\eta(t), t \in (-\infty, \infty)$ , називають процесом з незалежними періодичними приростами з періодом  $T$ , якщо функція розподілу приростів  $\eta(t, \tau) = \eta(t + \tau) - \eta(t)$  є періодичною функцією від  $t$  з періодом  $T$ :

$$F(x; t, \tau) = P\{\eta(t, \tau) < x\} = P\{\eta(t + T, \tau) < x\} = F(x; t + T, \tau). \quad (3)$$

Частинними випадками процесів з незалежними приростами є вінерівський і пуассонівський процеси. Враховуючи це зауваження, в роботі визначено клас періодичних пуассонівських потоків (ППП).

**Означення 2.** Пуассонівський потік  $\xi(t), t \in [0, \infty)$ , називається періодичним пуассонівським потоком, якщо функція розподілу його приростів  $\xi(t, \tau) = \xi(t + \tau) - \xi(t)$  є періодичною з деяким періодом  $T$ :

$$F(x; t, \tau) = P\{\xi(t, \tau) < x\} = P\{\xi(t + T, \tau) < x\} = F(x; t + T, \tau), x \geq 0. \quad (4)$$

Оскільки пуассонівський потік набуває цілочисельні значення, то на основі формули (4) можемо записати, що

$$P\{\xi(t, \tau) = k\} = P\{\xi(t + T, \tau) = k\}, k = 0, 1, \dots \quad (5)$$

На основі останньої рівності отримаємо, що для ППП математичне сподівання його приростів теж є періодичним:

$$M\xi(t, \tau) = \sum_{k=0}^{\infty} k P\{\xi(t, \tau) = k\} = M\xi(t + T, \tau). \quad (6)$$

Якщо останню рівність (6) підставити в (2), то бачимо, що для ППП його інтенсивність теж є періодичною з цим же періодом  $T$ :

$$\lambda(t) = \lambda(t+T). \quad (7)$$

Визначивши клас ППП, наступною є задача побудови оцінки його періодичної інтенсивності  $\lambda(t)$ , як другої складової схеми інформаційної технології, наведеної на рис. 2. Оскільки ППП загалом є нестационарним, проведено дослідження можливості знаходження оцінки інтенсивності  $\lambda(t)$  нестационарних потоків на довільних інтервалах  $(t, t+\tau)$ ,  $\tau > 0$ . Результати дослідження сформулюємо у вигляді наступного твердження.

**Твердження.** Нехай для ППП  $\xi(t)$ ,  $t \geq 0$  його періодична інтенсивність  $\lambda(t)$  залежить від невідомих параметрів, тобто  $\lambda(t) = \lambda(t, \bar{a})$ , де  $\lambda(\bullet, \bullet)$  – відома функція,  $\bar{a} = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_k)$  – вектор невідомих параметрів. Використовуючи для оцінки параметрів  $a_i$  вектора  $\bar{a} = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_k)$  метод максимальної правдоподібності, однозначну їх оцінку можна отримати лише у випадку, коли  $k=1$ , тобто коли невідомим є лише один параметр. Якщо  $k \geq 2$ , то  $k-1$  параметрів будуть вільними, тому оцінка вектора  $\bar{a} = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_k)$ , а отже й інтенсивності  $\lambda(t) = \lambda(t, \bar{a})$  виявиться неоднозначною.

Для задач практики щодо оцінки інтенсивності нестационарних пуассонівських потоків найбільш прийнятними є випадки, коли потік на інтервалах, де здійснюється оцінювання його інтенсивності, є стаціонарним, тобто є можливість знайти однозначну оцінку інтенсивності. Враховуючи це зауваження, введено клас періодичних пуассонівських кусково стаціонарних потоків (ППКСП), для яких можлива побудова однозначної оцінки їх інтенсивності.

**Означення 3.** Пуассонівський потік  $\xi(t)$  називається періодичним кусково стаціонарним з періодом  $T$ , якщо його параметр  $\lambda(t)$  є періодичною кусково постійною функцією з цим же періодом.

У визначенні ППКСП можуть здійснюватися певні уточнення, доповнення. Наприклад, може вважатися, що на періоді  $[0, T)$  таких інтервалів стаціонарності є скінченна кількість і крім цього можуть вказуватися ці інтервали:

$$[t_0, t_1), \dots, [t_{j-1}, t_j), \dots, [t_{n-1}, t_n), \quad (8)$$

де  $t_0 = 0, t_n = T$ . Якщо  $\tau_j = t_j - t_{j-1}$  – довжини інтервалів  $[t_{j-1}, t_j)$ ,  $j = 1, \dots, n$ , то в сукупності ці довжини утворюють вектор

$$\bar{\tau} = (\tau_1, \dots, \tau_j, \dots, \tau_n), \quad (9)$$

для якого  $\sum_{j=1}^n \tau_j = T$ , самі ж інтервали  $[t_{j-1}, t_j)$ ,  $j = 1, \dots, n$ , ще можна записати у вигляді

$$[t_{j-1}, t_{j-1} + \tau_j). \quad (10)$$

Оскільки інтенсивність потоку є періодичною функцією, то очевидно, що інтервали стаціонарності  $[t_0, t_1), \dots, [t_{j-1}, t_j), \dots, [t_{n-1}, t_n)$ , розміщені на періоді  $[0, T)$ ,

періодично продовжуються на весь інтервал  $[0, \infty)$ , і на довільному періоді  $[iT, (i+1)T)$  вони мають вигляд

$$[t_{j-1} + iT, t_j + iT), \quad j = 1, \dots, n; \quad i = 0, 1, \dots \quad (11)$$

В роботі побудована оцінка інтенсивності ППКСП  $(\xi(t), T, \bar{\tau})$ , що входить в інформаційну технологію, для якого відомими є його період  $T$  та вектор інтервалів стаціонарності  $[t_0, t_1), \dots, [t_{j-1}, t_j), \dots, [t_{n-1}, t_n)$ , де  $t_0 = 0$ ,  $t_n = T$ , або відповідний їм вектор тривалостей стаціонарності  $\bar{\tau} = (\tau_1, \dots, \tau_j, \dots, \tau_n)$ . При цьому вектор інтенсивностей

$$\bar{\lambda} = (\lambda_1, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_n) \quad (12)$$

є невідомим.

Нехай спостереження за потоком здійснювалися на інтервалі  $[0, T']$ ,  $T' \gg T$ ,  $\left\lceil \frac{T_0}{T} \right\rceil = m$ , де  $\lceil \bullet \rceil$  – ціла частина числа. Весь інтервал спостереження  $[0, T']$  розіб'ємо на окремі  $T_i$ -інтервали  $[(i-1)T, iT)$ , довжина кожного з яких дорівнює періоду  $T$ . В свою чергу, кожен з  $T_i$ -інтервалів розіб'ємо на інтервали стаціонарності  $[t_{j-1}, t_j) = [t_{j-1}, t_{j-1} + \tau_j)$ , де  $\tau_j$  – компоненти вектора  $\bar{\tau} = (\tau_1, \dots, \tau_j, \dots, \tau_n)$ .

Результати спостережень за ППКСП розмістимо у вигляді  $m \times n$  матриці, поданої на рис. 3, де  $m$  – число  $T_i$ -інтервалів  $[(i-1)T, iT)$ ,  $n$  – кількість інтервалів стаціонарності потоку на кожному із  $T_i$ -інтервалів. Елементи  $s(i, j)$  матриці – це кількість подій, які були зафіксовані на  $j$ -му інтервалі стаціонарності  $i$ -го  $T_i$ -інтервалу, тобто  $s(i, j)$  – це приріст потоку  $\xi(t)$  на інтервалі  $(t_{j-1} + (i-1)T, t_{j-1} + (i-1)T + \tau_j)$ :

$$s(i, j) = \xi(t_{j-1} + (i-1)T, \tau_j) = \xi(t_{j-1} + (i-1)T + \tau_j) - \xi(t_{j-1} + (i-1)T). \quad (13)$$

Номер $T_i$ -інтервалу	Номер інтервалу стаціонарності на $T_i$ -інтервалі			
	1		$j$	$n$
1	$s(1,1)$		$s(1, j)$	$s(1, n)$
$i$	$s(i,1)$		$s(i, j)$	$s(i, n)$
$m$	$s(m,1)$		$s(m, j)$	$s(m, n)$
	$S(1)$		$S(j)$	$S(n)$

Рисунок 3 – Результати спостережень за ППКСП

В останній стрічці матриці розміщені суми  $S(j) = \sum_{i=1}^m s(i, j)$ ,  $j = 1, \dots, n$ , кожна з яких дорівнює сумі подій, що відбулися на всіх інтервалах стаціонарності  $(t_{j-1} + (i-1)T, t_{j-1} + (i-1)T + \tau_j)$ ,  $i = 1, \dots, m$ , розміщених в  $j$ -му стовпчику матриці, і на яких одна і та ж інтенсивність  $\lambda_j$ , оцінку якої і потрібно знайти.

Враховуючи, що при фіксованому  $j$  на кожному із інтервалів  $(t_{j-1} + (i-1)T, t_{j-1} + (i-1)T + \tau_j)$ ,  $i = 1, \dots, m$ , потік є стаціонарним із апріорно невідомою інтенсивністю  $\lambda_j$ , то, беручи до уваги відомий метод оцінки інтенсивності стаціонарного потоку, оцінкою інтенсивності  $\lambda_j$ ,  $i = 1, \dots, n$  буде статистика

$$\hat{\lambda}_j = \frac{S(j)}{m\tau_j}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (14)$$

Вектор  $\bar{\lambda} = (\hat{\lambda}_1, \dots, \hat{\lambda}_j, \dots, \hat{\lambda}_n)$  є оцінкою вектора інтенсивностей (12). Зауважимо, що оскільки на всіх інтервалах стаціонарності  $(t_{j-1} + (i-1)T, t_{j-1} + (i-1)T + \tau_j)$ ,  $i = 1, \dots, m$ , прирости потоку розподілені за законом Пуассона з інтенсивністю  $\lambda_j$ , то математичне сподівання оцінки  $\hat{\lambda}_j$  співпадає з інтенсивністю  $\lambda_j$ , тобто  $M\hat{\lambda}_j = \lambda_j$ , дисперсія  $D\hat{\lambda}_j = \lambda_j^2$ , середньоквадратичне відхилення  $\sigma_j = \sqrt{D\lambda_j} = \lambda_j$ .

Для оцінки інтенсивності ППКСП написано відповідне програмне забезпечення, що є однією із складових інформаційної технології. Наведемо один із прикладів оцінки інтенсивності викликів на диспетчерський пункт швидкої допомоги Тернополя за осінь 2015 року. Для виконання розробленого програмного забезпечення «Оцінка інтенсивності потоків» та «DiagFind» було задано:

- період потоку  $T = 24 \text{ год.}$ ;
- інтервал часу спостереження за потоком  $T' = 90 \times 24 \text{ год.} = 2160 \text{ год.}$ ;
- границі інтервалів стаціонарності  $(6,8,20,24)$ .

Результати оцінки інтенсивності викликів із поділом на інтервали стаціонарності показано на рис. 4.

Результати оцінювання інтенсивності ППКСП є досить інформативними для диспетчерських служб швидкої допомоги, в першу чергу для розрахунку оптимальної кількості бригад швидкої допомоги на певних інтервалах стаціонарності потоку викликів, що в свою чергу сприяє вирішенню задач підвищення ефективності функціонування центрів екстреної медичної допомоги.

В **третьому** розділі проаналізовано ще один клас стохастично періодичних потоків – клас рекурентних потоків. Згідно із означенням рекурентний потік задається як послідовність однаково розподілених випадкових інтервалів

$$\tau_i, \quad i = 1, 2, \dots, \quad (15)$$

тобто їх функції розподілів співпадають:  $F_i(x) = P\{\tau_i < x\} = F(x)$ . Із цього означення бачимо, що в рамках моделі (15) можуть розглядатися тільки стаціонарні рекурентні потоки. Схожа ситуація спостерігалася і при розгляді стаціонарних пуассонівських потоків. Проте серед рекурентних потоків теж мають місце СПП. Для дослідження стохастично періодичних рекурентних потоків, в роботі введено новий клас процесів – інтервальні процеси.

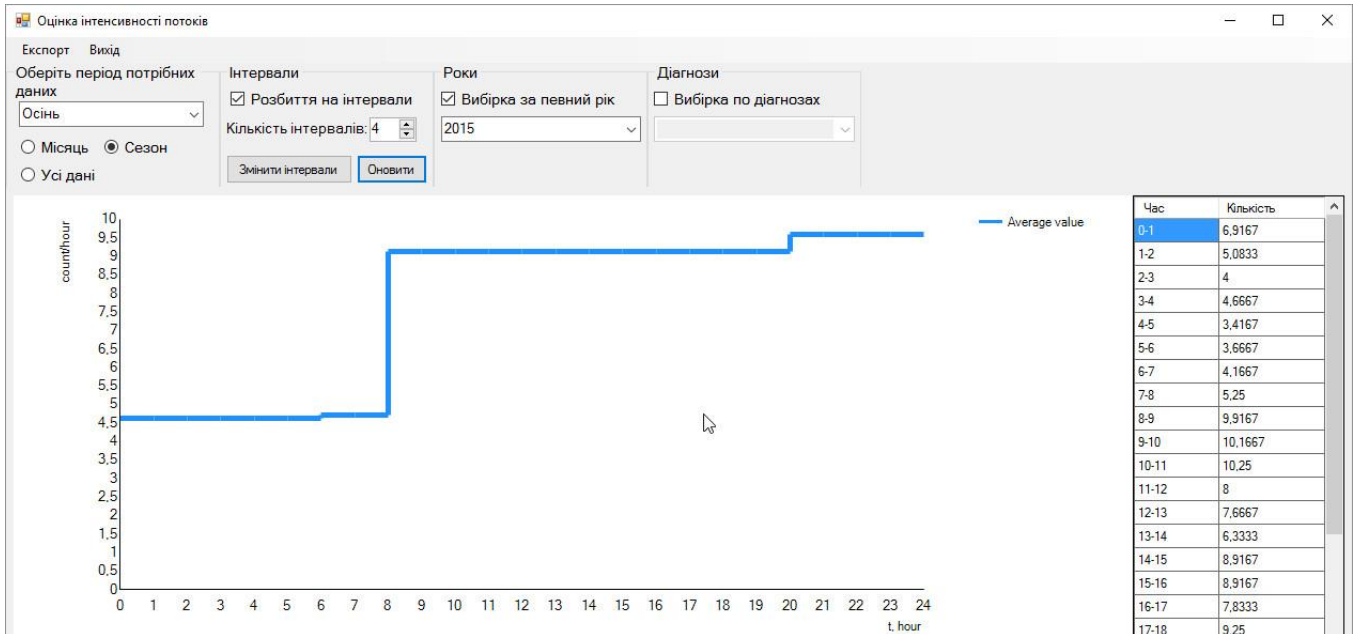


Рисунок 4 – Оцінка інтенсивності викликів на диспетчерський пункт швидкої допомоги м. Тернополя за осінь 2015 року

#### Означення 4. Випадковий процес

$$\tau(t), t \in [0, \infty), \quad (16)$$

для якого при кожному фіксованому значенні  $t$  випадкова величина  $\tau(t)$  є інтервалом часу між точкою (моментом)  $t$  і моментом часу, коли відбудеться наступна подія, називається інтервальним процесом.

Подібно до назви «пуассонівський потік», інтервальний процес  $\tau(t)$  іноді зручно називати інтервальним потоком, або ж рекурентним потоком.

Головне значення рекурентного потоку (16) полягає в тому, що цим кроком зроблено перехід від дискретного аргументу в моделі (15) до неперервного в (16). Таким чином, в залежності від ситуації рекурентний потік можна розглядати як послідовність випадкових величин або як випадковий процес. Подібну можливість подвійного задання має пуассонівський потік. В залежності від задачі, його можна розглядати як послідовність випадкових величин (інтервалів), що мають показниковий розподіл, або як потік  $\xi(t)$ , прирости якого мають розподіл Пуассона.

Для рекурентного потоку  $\tau(t)$ ,  $t \in [0, \infty)$ , його інтервали описуються функцією розподілу

$$F(x, t) = P\{\tau(t) < x\}. \quad (17)$$

Якщо функція  $F(x,t)$  абсолютно неперервна, потік описується густиною розподілу  $f(x,t)$ . У випадку, коли всі інтервали рекурентного потоку  $\tau(t)$  розподілені за одним і тим же законом, тобто функція розподілу  $F(x,t)=F(x)$ , такий рекурентний потік є стаціонарним.

Наявність рекурентного потоку  $\tau(t)$  дає можливість описати і стохастично періодичні рекурентні потоки. Для цього будемо вважати, що для нестаціонарного рекурентного потоку параметри  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , що входять до функції розподілу  $F(t,x)$  вже є деякими функціями часу.

**Означення 5.** Рекурентний потік  $\tau(t)$ ,  $t \in [0, \infty)$ , називається періодичним, якщо періодичною з періодом  $T$  є його функція розподілу, тобто виконується рівність

$$F(t,x) = F(t+T,x). \quad (18)$$

При цьому параметри функції розподілу  $a_1(t), a_2(t), \dots, a_n(t)$  (всі чи деякі) є періодичними з одним і тим же періодом  $T$ . Як приклад, наведемо означення одного із класів періодичних рекурентних потоків із конкретизацією його функції розподілу.

**Означення 6.** Рекурентний потік  $\tau(t)$ ,  $t \in [0, \infty)$  називається періодичним рекурентним потоком із рівномірним розподілом, якщо для його густини розподілу

$$f(x,t) = \begin{cases} \frac{1}{b(t)-a(t)}, & x \in [a(t), b(t)], \\ 0, & x \notin [a(t), b(t)], \end{cases} \quad (19)$$

параметри  $a(t)$  і  $b(t)$ ,  $b(t) > a(t) > 0$ , є періодичними функціями з одним і тим же періодом  $T$ :  $a(t) = a(t+T)$ ,  $b(t) = b(t+T)$ .

Подібно до періодичного рекурентного потоку із рівномірним розподілом легко визначити періодичні рекурентні потоки із іншими розподілами, наприклад, трикутним, гама, Ерланга, Вейбула-Гніденко, Максвелла тощо.

Для потреб практики корисними є періодичні рекурентні кусково стаціонарні потоки (ПРКСП).

**Означення 7.** Рекурентний потік  $\xi(t)$  називається періодичним рекурентним кусково стаціонарним потоком, якщо деякі параметри його функції розподілу є періодичними кусково постійними функціями з періодом  $T$  (параметри, що не є періодичними, вважаються постійними).

Зауважимо, що для оцінки інтенсивності ПРКСП може бути використаний алгоритм оцінки інтенсивності ППКСП.

Важливо також наголосити, що наявність рекурентних потоків з неперервним аргументом і конкретною функцією розподілу їх інтервалів є базою для розробки методів імітаційного моделювання стаціонарних, періодичних, періодичних кусково стаціонарних рекурентних потоків, що, в свою чергу, може бути використано при розробці відповідних комп'ютерних експериментів.

В четвертому розділі вирішується задача побудови моделі та розробки методів аналізу періодичних випадкових процесів як складової інформаційної технології, коли причиною породження (виникнення) їх стохастичної періодичності

є СПП. Саме такими є збурення магнітного поля Землі, стохастична періодичність якого породжується стохастичною періодичністю сонячного вітру, який є потоком заряджених частинок, що проникають в магнітосферу Землі. Оскільки період обертання Землі, а тим самим і період інтенсивності сонячного вітру,  $T = 24$  год., стохастична періодичність магнітного поля має цей же період  $T = 24$  год.

Для стохастично періодичних магнітних збурень знайдені оцінки їх періодичного математичного сподівання. Як приклад, на рис. 5 наведені оцінки математичного сподівання магнітних збурень (з кроком дискретизації  $\Delta t = 3$  год.) за січень, лютий і березень 2001 року. На рис. 6 наведено оцінки середньоквадратичного відхилення магнітних збурень за ці ж місяці. Аналіз результатів обробки показує, що для різних місяців оцінки математичного сподівання магнітних збурень мають протягом доби приблизно однаковий характер поведінки. Отримані результати є однією із складових бази даних інформаційної технології, на основі яких можливий розрахунок прогнозних значень інтенсивності загострень певних захворювань, що, в свою чергу, важливо для оптимізації роботи диспетчерських служб швидкої допомоги.

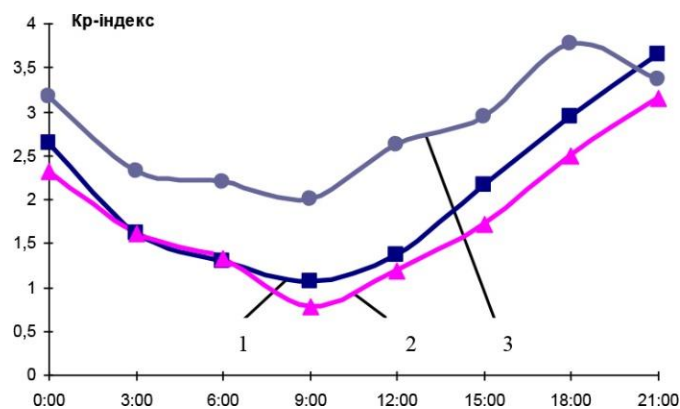


Рисунок 5 – Оцінка математичного сподівання магнітних збурень за січень (1), лютий (2) та березень (3) 2001 року

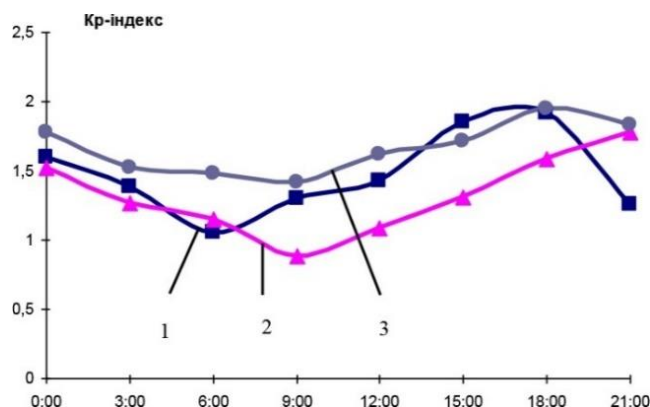


Рисунок 6 – Оцінка середньоквадратичного відхилення магнітних збурень за січень (1), лютий (2) та березень (3) 2001 року

На базі моделі періодичних кусково стаціонарних процесів для магнітних збурень розроблено метод їх гістограмного аналізу, як одного із елементів інформаційної технології.

Ще один важливий напрям досліджень, де широко використовуються потоки, – це СМО марківського типу, що функціонують в умовах стохастичної періодичності, причиною виникнення якої є їх стохастично періодичні вхідні потоки. У роботі розглянуто системи електропостачання на прикладі району електричної мережі (РЕМ) Тернополя. Вхідним потоком таких систем є ППП споживання електроенергії. Внаслідок цього за модель графіків електроспоживання може бути вибраний в залежності від задачі або періодичний випадковий процес, або періодичний ланцюг Маркова. На базі моделі періодичного ланцюга Маркова з періодом  $T = 8$  і кроком дискретизації  $\Delta t = 3$  год. знайдено оцінки його матриць переходів  $\Pi(0), \Pi(1), \dots, \Pi(7)$ . Для оцінювання були використані графіки спожитої електроенергії в м. Тернопіль протягом осені 2009 року.

В п'ятому розділі розроблено інформаційну технологію для перевірки адекватності моделей СПП та правильності методів їх аналізу. Для цього розроблено схему комп'ютерного експерименту, основні складові якого наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні складові комп'ютерного експерименту для аналізу ППКСП та ПРКСП

1	Моделювання базового білого шуму
2	Задавання параметрів ППКСП (ПРКСП)
3	Імітаційне моделювання ППКСП (ПРКСП)
4	Гістограмний аналіз СПП
5	Оцінка інтенсивності ППКСП (ПРКСП)
6	Порівняння заданої інтенсивності потоку та її оцінки
7	Висновки

Важливою складовою комп'ютерного експерименту є його третій крок – імітаційне моделювання ППКСП та ПРКСП. Комп'ютерний експеримент включає також алгоритми знаходження оцінок параметрів змодельованих періодичних потоків та обчислення міри відхилення між параметрами та їх оцінками. Якщо, наприклад,  $\bar{\lambda} = (\lambda_1, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_n)$  – вектор інтенсивностей ППКСП,  $\hat{\lambda} = (\hat{\lambda}_1, \dots, \hat{\lambda}_j, \dots, \hat{\lambda}_n)$  – його оцінка, то середньоквадратична відстань між цими векторами визначається за формулою

$$\rho(\bar{\lambda}, \hat{\lambda}) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{24} (\bar{\lambda}(t) - \hat{\lambda}(t))^2 dt}. \quad (20)$$

Наведемо один із результатів проведення комп'ютерного експерименту, як елементу інформаційної технології, для аналізу ППКСП. Для програмного забезпечення «Імітаційне моделювання», розробленого в роботі, було задано:

- період потоку  $T = 24$  год.;
- інтервал тривалості моделювання  $T' = 10 \times T = 10 \times 24$  год. = 240 год.;
- границі інтервалів стаціонарності (6,8,18,24);
- вектор інтенсивностей  $\bar{\lambda} = (6,5,9,14)$ .

Результати експерименту наведено на рис. 7. Вектор інтенсивностей потоку  $\bar{\lambda} = (6,5,9,14)$  зображено неперервним графіком, вектор оцінки інтенсивностей



$\hat{\lambda} = (6.0505, 4.5518, 9.2705, 14.4907)$  показано штрих-пунктирним графіком. Середньоквадратичне відхилення оцінки інтенсивності  $\hat{\lambda}$  від самої інтенсивності  $\bar{\lambda}$ , обчислене за формулою (20),  $\rho(\bar{\lambda}, \hat{\lambda}) = 0.1468$ .

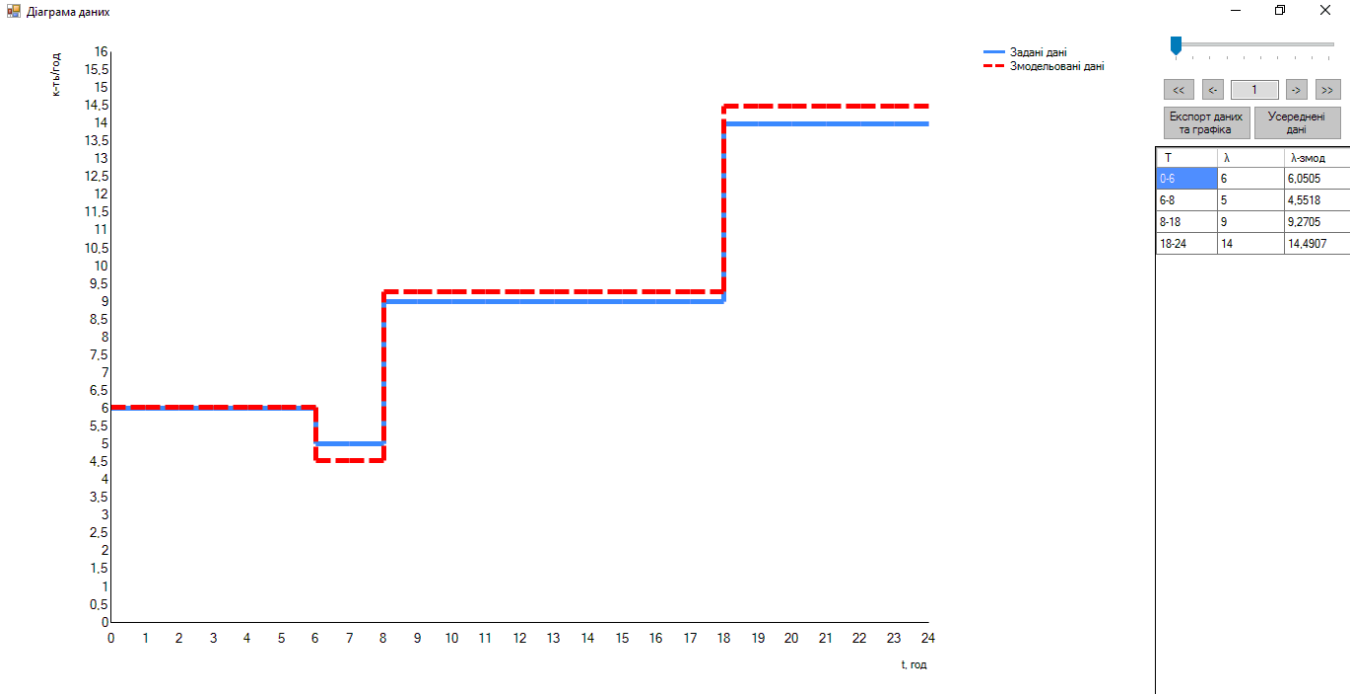


Рисунок 7 – Інтервали стаціонарності ППКСП, значення інтенсивностей на цих інтервалах та їх оцінки

Результати роботи комп'ютерного експерименту для аналізу ППКСП та ПРКСП як складової інформаційної технології не суперечать тому, що модель є адекватною реальним СПП пуассонівського та рекурентного типів. Розроблені на основі моделі алгоритми та програмне забезпечення, що включає оцінку вектора інтенсивностей стохастично періодичних потоків, їх гістограмний аналіз, можуть успішно використовуватися для аналізу реальних СПП з подальшим використанням отриманих результатів для оптимізації систем масового обслуговування, що функціонують в умовах ритмічності.

## ВИСНОВКИ

В дисертації вирішено актуальне наукове завдання, пов'язане із розробкою інформаційних технологій аналізу СПП, використання результатів яких сприяє оптимізації СМО, що функціонують в умовах ритміки.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають в наступному:

1. Обґрунтовано, що розробка інформаційної технології аналізу стохастично періодичних потоків доцільно здійснювати за схемою «модель – алгоритм – програма – прикладне застосування – комп'ютерний експеримент».
2. Вперше введено клас періодичних пуассонівських потоків, а на його основі обґрунтовано модель СПП пуассонівського типу у вигляді періодичних пуассонівських кусково стаціонарних потоків, для яких розроблено алгоритм та

написано програмне забезпечення, як елемент інформаційної технології, для знаходження оцінки їх інтенсивності.

3. Вперше розроблено основи теорії рекурентних потоків з неперервним аргументом, що дало можливість обґрунтувати модель СПП рекурентного типу у вигляді ПРКСП, для яких є можливість знаходити оцінку їх періодичної інтенсивності та здійснювати імітаційне моделювання.

4. Вперше розроблено метод та програмне забезпечення гістограмного аналізу СПП, що входить в інформаційну технологію, результати якого відіграють ключову роль при класифікації потоків залежно від функції розподілу інтервалів потоку, виборі методів їх обробки.

5. Розроблено методи та програмне забезпечення як складові інформаційної технології дослідження СПП та процесів, що використовуються для аналізу викликів на диспетчерській пункт швидкої допомоги Тернополя та аналізу графіків споживання електроенергії Тернополя. В свою чергу, результати аналізу надають можливість відповідним диспетчерським службам здійснювати розрахунок прогнозних значень потоку викликів та графіків електроспоживання в залежності від години доби, пори року, що сприяє підвищенню ефективності функціонування відповідних систем.

6. Розроблено комп'ютерний експеримент як складову інформаційної технології перевірки правильності засобів аналізу стохастично періодичних потоків, який складається із:

- імітаційного моделювання періодичних пуассонівських та рекурентних кусково стаціонарних потоків;
- гістограмного аналізу змодельованих потоків;
- оцінки їх інтенсивності;
- перевірки правильності методів аналізу стохастично періодичних потоків шляхом визначення «відстані» між параметрами, що задавалися для імітаційного моделювання, та їх оцінками;
- висновку експертів щодо адекватності моделей відповідних стохастично періодичних потоків та правильність методів їх статистичного аналізу.

Позитивний результат перевірки забезпечує можливість використання розроблених програмних продуктів для дослідження реальних потоків, негативний – на доопрацювання чи вдосконалення моделі та методів аналізу.

## **СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Маєвський О.В. Системи масового обслуговування в умовах стохастичної періодичності та можливості їх дослідження / О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак // Вимірювальна та обчислювальна техніка. – Хмельницький: ХНІ, 2013. – № 4 (45). – С. 7 – 12. (Index Copernicus, РИНЦ).

2. Моделі та методи дослідження систем масового обслуговування марківського типу в умовах стохастичної періодичності та їхнє застосування в енергетиці / О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак, С.Ю. Прошин // Технічна

електродинаміка. – 2014. – № 2. – С. 11 – 16. (Scopus, Ulrich's Web GlobalSerials Directory, EBSCOhost databases).

3. Пуассонівські періодичні кусково-стаціонарні потоки та оцінка їх інтенсивності / О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак, О.М. Приймак // Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління» (технічні науки). – 2016. – № 29. – С. 87 – 99.

4. Маєвський О.В. Гістограмний аналіз періодичних випадкових процесів і його використання в прикладних дослідженнях / О.В. Маєвський, М.В. Приймак, Л.М. Щербак // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2003. – № 2 (22). – С. 26 – 31.

5. Маєвський О.В. Обґрунтування моделі та статичний аналіз збурень магнітного поля землі з врахуванням їх добової стохастичної періодичності / О.В. Маєвський, М.В. Приймак, Л.М. Щербак // Вісник ТНТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль: ТДТУ, 2003. – № 4. – С.106 – 113.

6. Маєвський О.В. Задача створення інформаційної бази моніторингу земних і космічних явищ / О.В. Маєвський // Збірник наукових праць. НАН України ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ. – Вип. 72. – Київ, 2014. – С. 111 – 118.

7. Моделі та інформаційні технології дослідження стохастично періодичних потоків / О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак, Г.В. Шимчук // Вісник національного університету “Львівська політехніка”. Збірник наукових праць. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2015. – № 832: Інформаційні системи та мережі – С. 242 – 253.

8. Stochastic periodic queeing systems of markov type and their analysis by the example of power supply systems / O. Majevskiy, O. Matsiuk, M. Pryjmak, S. Proshyn, V. Yaskilka // Technological Complexes. Sceintific Journal. – Lutsk: National Technical University, 2014. – № 2 (10) – P. 16 – 21. (Index Copernicus, РИНЦ, Ulrich's Periodicals Directory).

9. Маєвський О.В. Математична модель стохастично періодичних магнітних бур / О.В. Маєвський, М.В. Приймак, Л.М. Щербак // Тези доп. 7-ої наук.-техн. конф. ТДТУ. – Тернопіль, 2003. – С. 82.

10. Маєвський О.В. Методи статистичного аналізу магнітних бур на основі лінійного періодичного процесу / О.В. Маєвський // Тези доп. 7-ої наук.-техн. конф. ТДТУ. – Тернопіль, 2003. – С. 83.

11. Маєвський О.В. Модель сигналів космічних магнітних бур на основі лінійного періодичного випадкового поля / О.В. Маєвський, М.В. Приймак, Л.М. Щербак // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2003»: Інформаційно-діагностичні системи. Том 1. – К.: НАУ, 2003. – С. 11.119 – 11.122.

12. Маєвський О.В. Оцінка густин ймовірностей періодичного процесу методом їх ортогональних подань / О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак // Тези доповідей XIV наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2010. Том 1. – С. 27.

13. Маєвський О.В. Аналіз водоспоживання багатоквартирних будинків / О.М. Дуда, О.В. Маєвський, Г.В. Шимчук // Матеріали I науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя "Інформаційні моделі, системи та технології". – Тернопіль, 2011. – С. 13.

14. Маєвський О.В. Статистичний аналіз метеофакторів та викликів швидкої допомоги з врахуванням їх добової стохастичної періодичності / О.В. Маєвський // Матеріали I науково-технічної конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. Інформаційні моделі, системи та технології. – Тернопіль, 2011. – С. 18.

15. Маєвський О.В. Ритмічність викликів швидкої допомоги / О.В. Маєвський // Збірник тез доповідей XV наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2011. – С. 82.

16. Стохастично періодичні потоки та їх модель / Р.І. Драпак, О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак // Збірник тез доповідей XV наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2011. – С. 88.

17. Маєвський О.В. Періодичні білі шуми та моделі стохастично періодичних потоків / О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак // Сучасні проблеми теорії ймовірностей та математичного аналізу. Матеріали всеукраїнської наукової конференції. – Івано-Франківськ, 2012. – С. 19 – 22.

18. Маєвський О.В. Оцінка періодичності інтенсивності вхідного потоку / О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак // Збірник тез доповідей XVI наукової конф. ТНТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2012. – С. 5.

19. Маєвський О.В. Дослідження тривалостей обслуговування вимог стохастично періодичних СМО / О.В. Маєвський, М.В. Приймак // Збірник тез доповідей XVI наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2012. – С. 56.

20. Маєвський О.В. Оцінка математичного сподівання інтенсивності водоспоживання холодної води упродовж доби / О.В. Маєвський, С.Ю. Прошин, Г.В. Шимчук // Матеріали III науково-технічної конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 24 квітня 2013, Тернопіль. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2013. – С. 15.

21. Маєвський О.В. Інформаційна технологія моніторингу зв'язку динаміки збурень магнітного поля Землі зі статистикою захворювань людей / О.В. Маєвський // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси ІРТК-2013: шоста міжнародна науково-практична конференція, 27 – 29 травня 2013 р., Київ. – К.: НАУ, 2013. – С. 142 – 143.

22. Маєвський О.В. Інформаційна технологія моніторингу зв'язку динаміки збурень магнітного поля Землі зі статистикою захворювань людей / О.В. Маєвський // Матеріали між. науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 11 – 12 грудня, 2013 р., Тернопіль. – Тернопіль: ТНТУ. – С. 199 – 200 с.

23. Маєвський О.В. Моделі стохастично періодичних потоків напівмарківських систем / О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак // 15 міжнародна наукова конференція ім. акад. М. Кравчука. Т.3, 15 – 17 травня, 2014 р., Київ. – К.: НТУУ "КПІ". – С. 98 – 99.

24. Маєвський О.В. Стохастично періодичні напівмарківські системи та модель їх вхідного потоку / О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 28 – 31 травня, 2014 р., Харків. – Харків: ХНУ. – С. 329 – 331.

25. Маєвський О.В. Моделі стохастично періодичних потоків як періодичні білі шуми / О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2014). XII Між. конференція. Тези доповідей. 14 – 16 жовтня 2014 року, Вінниця. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – С. 32.

26. Інтервальні рекурентні потоки та їх класифікація / О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак, Г.В. Шимчук // 16-а міжнародна наукова конференція ім. академіка М. Кравчука: Матеріали конф. Т.3, 14 – 15 травня 2015 р., Київ. – К.: НТУУ "КПІ", 2015. – С. 55 – 59.

27. Маєвський О.В. Створення бази даних викликів швидкої допомоги Тернополя / О.В. Маєвський // XIX Наукова конференція ТНТУ ім. І. Пулюя, 18 – 19 травня 2016 року, Тернопіль. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – С. 97 – 98.

28. Інформаційні технології оцінки інтенсивності періодичних пуассонівських потоків / О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак, Г.В. Шимчук // 17-а між. наук. конф. ім. акад. М. Кравчука. Матеріали конф. Т.3, 19 – 20 травня 2016р., Київ. – К.:НТУУ "КПІ", 2016. – С. 124 – 128.

29. Про моделі та інформаційні технології аналізу стохастично періодичних потоків / О.В. Маєвський, О.В. Мацюк, М.В. Приймак, Г.В. Шимчук // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції ХНУ ім. В.Н. Каразіна. 26 – 31 травня, 2016 р., Харків. – Харків: ХНУ. – С. 285 – 288.

30. Литвиненко Я.В. Комп'ютерний експериментальний комплекс для моделювання та обробки кардіосигналів / Я.В. Литвиненко, С.А. Лупенко, О.В. Маєвський // Тези доп. 6-ої наук.-техн. конф. ТДТУ. – Тернопіль: Вид.-во ТДТУ, 2002. – С. 137.

## АНОТАЦІЇ

**Маєвський О.В. Інформаційні технології аналізу стохастично періодичних потоків. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, – Тернопіль, 2017.

Дисертація присвячена розробленню інформаційних технологій аналізу стохастично періодичних потоків та використанню отриманих результатів в задачах підвищення ефективності систем масового обслуговування, що функціонують в умовах стохастичної періодичності. Для вирішення поставлених завдань використано підхід, що охоплюється схемою «модель – алгоритм – програма – прикладне застосування – комп'ютерний експеримент». В рамках цього підходу введено нові класи моделей – періодичні пуассонівські та рекурентні кусково стаціонарні потоки, розроблено методи оцінки їх інтенсивності та гістограмного аналізу. Для перевірки адекватності моделей та правильності алгоритмів і програмного забезпечення розроблено комп'ютерний експеримент. Створене програмне забезпечення застосовано для дослідження потоку викликів у диспетчерську службу швидкої допомоги і графіків споживання електроенергії Тернополя та вироблення рекомендацій щодо оптимізації їх функціонування.

**Ключові слова:** стохастична періодичність, потік, інформаційні технології, модель, алгоритм, оцінка, гістограма, імітаційне моделювання, комп'ютерний експеримент, оптимізація управління.

**Маевский А.В. Информационные технологии анализа стохастически периодических потоков. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Информационные технологии. – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, – Тернополь, 2017.

Диссертация посвящена разработке информационных технологий анализа стохастически периодических потоков и использованию полученных результатов в задачах повышения эффективности систем массового обслуживания, функционирующих в условиях стохастической периодичности. Для решения поставленных задач использован подход, охватываемый схемой «модель – алгоритм – программа – использование в приложениях – компьютерный эксперимент». В рамках этой схемы введены новые классы моделей – периодические пуассоновские и рекуррентные кусково стационарные потоки, разработаны методы оценки их интенсивности и гистограммного анализа. Для проверки адекватности моделей, правильности алгоритмов и программного обеспечения разработан компьютерный эксперимент. Созданное программное обеспечение использовано для анализа потоков вызовов в диспетчерскую службу скорой помощи, графиков потребления электроэнергии Тернополя и выработки рекомендаций для оптимизации их функционирования.

**Ключевые слова:** стохастическая периодичность, поток, информационные технологии, модель, алгоритм, оценка, гистограмма, имитационное моделирование, компьютерный эксперимент, оптимизация управления.

**Majevskiy O. Information technologies of analysis of stochastic periodic flows. – Manuscript.**

Thesis for Candidate Degree of Technical Sciences on speciality 05.13.06 – Information technologies. – Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ternopil, 2017.

The thesis is devoted to development of information technologies for investigation of stochastically periodic flows and application of obtained results to the problem of efficiency improvement for queuing systems that operate under conditions of stochastic periodicity. To solve the problem we apply an approach defined by "model – algorithm – program – application – simulation" sequence. The new class of flows is introduced within framework of this approach on the basis for a model of stochastic periodical flows. This is a class of periodic Poisson flows, and a class of periodic Poisson piecewise stationary flows as a derivative of the former one. The method for evaluation of their periodic piecewise-constant intensity as well as appropriate software are developed and applied for assessment of calls to Ternopil emergency station flow periodic intensity. The estimated intensities of call flows are used by dispatch service for control optimization of ambulance emergency station with taking into account the calls intensity, depending on time and season.

The model of stochastic periodic flows of recurrent type is developed as an analogue to stochastic periodic flows of Poisson type. The new source class of flows is introduced. This is the class of interval flows. and on its base the class of periodical recurrent piecewise stationary flows is introduced too. For its intensity estimation the method developed in this work for periodic Poisson piecewise stationary flows can be applied.

For assessment of the introduced flows a method of histogram analysis with appropriate software are developed. Its application gives a possibility to classify the flows depending on function of their intervals distribution.

To validate adequacy of statistically periodic flows and prove the correctness of their investigation algorithms the computational experiment is developed that includes simulation of periodical Poisson and recurrent piecewise stationary flows, their histogram analysis, evaluation of their periodic piecewise constant intensity, calculation of the measure of deviation (distance) of obtained value of intensity from the given one. The results of validation authorizes application of developed information technology to solving practical problems or, vice versa, point out the necessity of their improvement.

The results of thesis are implemented and used in central dispatch service at municipal institution "Center of emergency medical assistance and medicine of disasters" of Ternopil region council, in dispatch service of power networks in Ternopil district, in the branch of the regional center of clinical immunology and allergology at the municipal institution "Ternopil university hospital" of Ternopil region council, as well as in educational process in the Computer Science Department of Ternopil Ivan Puluj National Technical University.

The principles on which information technologies of stochastic periodical flows is based have general character and can be successfully applied for investigation and control of such flows in other fields of science and national economy branches (global and local computer networks, transportation, tourism, input flows of major queuing systems).

**Key words:** information technologies, statistical analysis, prognosis, optimal control, rhythmic load, simulation.

Формат 60×90 Папір ксероксний.  
Обл. вид. арк. 0,9  
Наклад 100 прим. Зам. № 2831.

Тернопільський національний технічного університету імені Івана Пулюя  
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001  
**E-mail: vydavnytstvo@tu.edu.te.ua**