

Овчаров Олександр Олександрович, заступник завідувача кафедри управління і тактико-спеціальної підготовки, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна.

ORCID: 0000-0002-9800-141X.

E-mail: allorlov@ukr.net.

Hol Vladyslav, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor at the special telecommunication systems using academic department, Institute of special communication and information protection of National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute", Kyiv, Ukraine.

Ovcharov Oleksandr, deputy head at the management and tactical and special training academic department, Institute of special communication and information protection of National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute", Kyiv, Ukraine.

DOI 10.20535/2411-1031.2020.8.1.218008

УДК [004.056.5+007.51]::519.217.2

ВАЛЕНТИН ПЕТРИК,
СВГЕН ГОРОНДЕЙ

ДИСКРЕТНА МАРКІВСЬКА МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ НАТОВПУ

Розглянута дискретна Марківська модель інформаційно-комунікаційних процесів, які протікають у натовпі у ході його формування. Контекст описання моделі опирається на використання ланцюгів Маркова та ймовірнісних характеристик. Застосування ланцюгів Маркова для моделювання процесу формування натовпу обумовлено необхідністю визначення можливості його функціонування у визначених станах, включаючи можливість протікання процесу взаємоузгодження випадкових величин. Метою даного моделювання є аналізування інформаційно-комунікаційних процесів при формуванні натовпу. Оскільки перебіг протікання процесів у натовпі напряму залежить від стану, в якому він представлений і значень випадкових величин, це дозволяє визначити та спрогнозувати можливий перебіг подій у натовпі під час його становлення. У такому разі увесь процес формування натовпу можна відобразити сукупністю станів, у які переходить натовп під впливом зовнішніх чинників. За допомогою сформованих станів визначаються значення випадкових величин. Це дає змогу побудувати функцію розподілу випадкової величини та зі заданою точністю знайти ймовірність реалізації певної випадкової події при формуванні натовпу. Для встановлення його можливості розраховується середнє значення випадкової величини, що характеризується математичним сподіванням. Для визначення розсіювання значень випадкової величини знаходиться дисперсія. Оскільки, процес може реалізуватися частково, повноцінно або не виконаний взагалі, то розраховується середнє квадратичне відхилення, яке показує на скільки в середньому відхиляються значення випадкової величини від їх середнього значення. Таким чином, розроблена дискретна Марківська модель інформаційно-комунікаційних процесів формування натовпу дозволяє розробити алгоритм, визначення типу натовпу, можливість протікання процесу та представлення

об'єктів натовпу у просторі у вигляді кластерів. Особливістю даної моделі є те, що результати її використання отримуються із заданою точністю. Це дозволяє достовірно визначити можливість реалізації натовпу у певному стані, тим самим вирішити проблему прогнозування формування натовпу.

Ключові слова: натовп, моделювання, програмний засіб, інформаційно-комунікаційний процес, інформаційно-психологічний вплив, випадкова величина, характеристики випадкової величини, математична модель.

Постановка проблеми. Інформаційно-комунікаційні процеси при формуванні натовпу моделюються для дослідження його поведінки під час становлення. При цьому, самий процес формування натовпу проходить у декілька етапів, реалізація яких залежить від стану, у якому перебував натовп під час свого становлення. Тому необхідно розробити математичну модель, за допомогою якої можливе дослідження станів процесу формування натовпу, випадкових подій та їх імовірності, що дають можливість спрогнозувати перехід натовпу із одного стану в інший та розрахувати показники мінливості із заданою точністю. Такий підхід дозволяє як змоделювати інформаційно-комунікаційні процеси при формуванні натовпу, так і на основі отриманої моделі програмно реалізувати його [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Моделювання поведінки натовпу обумовлено необхідністю виявлення когнітивних ознак кожного процесу, які реалізуються під час формування [1] - [7]. При цьому використовуються макро та мікро моделі для того, щоб розбити увесь процес формування натовпу на незалежні один від одного підпроцеси (стани) [8].

Це дає можливість аналізувати інформаційно-комунікаційні фактори у натовпі. Для дослідження його розвитку (стрімке зростання або спадання чисельності учасників) та можливості впливу збурюючих факторів – використовуються статичні та динамічні моделі управління натовпом [2]. Застосовуючи методи варіаційного числення, можливо змоделювати скупчення осіб у просторі, застосовуючи при цьому диференціальний підхід [2]. Відповідно, аналізуючи процес формування натовпу, необхідно взяти до уваги усі когнітивні ознаки. Дані ознаки прирівнюються зі значеннями випадкової величини. В свою чергу, випадковими величинами відображаються події у межах випадкового процесу [3], [4]. При цьому в будь-який момент часу, умовний розподіл майбутніх станів процесу з заданими поточним станом і минулими станами залежить тільки від поточного стану, а не від минулих станів.

Отже, узагальнюючи аналіз останніх досліджень і публікацій, можна зробити висновок, що проблема моделювання поведінки натовпу вирішена частково, оскільки досить складно визначити поведінку через певний проміжок часу. Але, використовуючи дискретні ланцюги Маркова можна моделювати поведінку натовпу і більше того – визначати імовірність переходу до іншого стану. Тому моделювання інформаційно-комунікаційних процесів формування натовпу на основі дискретної марківської моделі є актуальним.

Метою статті є аналізування інформаційно-комунікаційних процесів формування натовпу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Формування натовпу представляється у вигляді випадкового процесу, який змінюється з часом. Одним із важливих факторів, який повинен враховуватися в процесі прийняття оптимальних рішень під час моделювання натовпу – це фактор випадковості, що призводить до зміни його станів. Сукупність таких факторів утворюють випадковий процес [2]. В свою чергу кожний процес, який протікає у натовпі визначається різними станами. При цьому перехід з одного стану в інший залежить тільки від теперішнього стану і не залежить від того, як розвивався процес зміни станів у минулому. Таку особливість формування натовпу можливо змоделювати за допомогою однорідних дискретних ланцюгів Маркова. Дискретний Марківський процес – це випадковий процес, при якому зміна дискретних станів проходить в певний момент часу. В свою чергу зміна дискретних станів залежить від певних факторів, які впливають на процес перебування

натовпу у конкретному стані у певний момент часу. Відповідно, необхідною умовою дослідження стану натовпу є аналіз факторів, які впливають на процес формування. Для дослідження необхідно побудувати граф представлення станів із перехідними ймовірностями [2] - [5]:

- $S1$ – занепокоєння особистості кожного індивіда;
- $S2$ – самовільний прихід людей (стан хаотичного натовпу);
- $S3$ – конвенціональний стан натовпу;
- $S4$ – експресивне збудження натовпу.

Окрім стану формування натовпу, необхідно брати до уваги ймовірність його переходу від одного стану до іншого. У даному випадку кожен стан має свою ймовірність, а також ймовірність переходу до іншого стану. Це означає, якщо ймовірність стану натовпу є високою, а ймовірність переходу до іншого стану є низькою – то натовп не може переходити до іншого стану, зокрема, етапу свого становлення. Тобто, це свідчить про те, що натовп зберігатиме даний стан протягом певного часу і потім існування натовпу припиниться. Перебуваючи у n стані, процес здатен не проходячи впливати на інший супутній йому процес, включаючи комунікаційні процеси, які в ньому відбуваються. Тобто один процес може гальмувати інший, до того моменту, поки перехідна ймовірність не досягне значення, при якому реалізується перехід [3], [6]. Тому стани представляються графом.

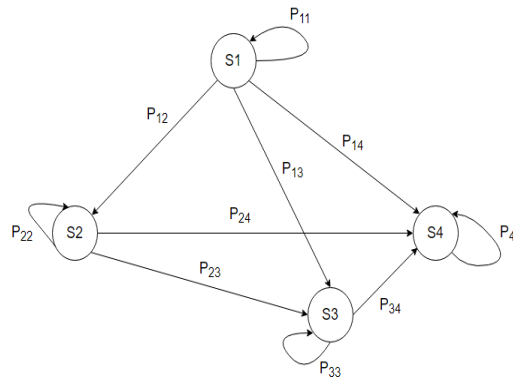


Рисунок 1 – Граф представлення станів формування натовпу

У даному випадку, процес формування натовпу S має чотири можливих стани. Відповідно, даний процес формування натовпу є марківським. Зміна стану не залежить від того, коли і яким чином натовп перейшов від одного стану до іншого, а залежить тільки від поточного стану [3]. При цьому зміна стану проходить у певний проміжок часу, які прийнято вважати за кроки. Сам процес формування натовпу проходить у декілька етапів, кожен з яких може перебувати у декількох станах. Якщо ймовірності не залежать від того, в якому стані перебуває формування натовпу, а визначається тільки цим станом, то описана ситуація відповідає дискретній марківській моделі. Це пояснюється тим, що якщо натовп у ході свого формування переходить до наступного етапу становлення, при цьому, якщо перехідні ймовірності не залежать від його стану, то необхідно брати до уваги дискретну марківську модель [5]. Перехід з одного стану в інший, в даному процесі визначається ймовірностями, які в свою чергу задаються матрицею:

$$\|P_{ij}\| = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

де P_{ij} – ймовірність переходу з i стану в j .

Матриця перехідних ймовірностей дає можливість представити усі можливі ймовірності

переходу процесу із одного стану в інший. В загальному випадку процес представляється множиною станів, але для визначення імовірностей переходу станів – зручніше використовувати (1), тому що можливо визначити крок перехідної імовірності та більш явно конкретизувати перехідні імовірності станів [5].

$$P_i = \sum_j P_{ij} = 1, \quad (2)$$

де P_i – імовірність перебування процесу в i стані.

Оскільки перехід із наступного стану у попередній неможливий, то сума перехідних імовірностей буде рівна 1. Використання (2) як умови нормування дозволяє визначити ймовірності переходу для кожного стану окремо. З точки зору теорії марківських процесів можна вважати, що процес є однорідним, так як перехідні імовірності залишаються без зміни від кроку до кроку [3], [7].

$$P_j(k) = \sum_i P_i(k-1) \cdot P_{ij}, \quad (3)$$

де $P_j(k)$ – імовірність переходу процесу в стан j після k кроку;

k – номер кроку.

За допомогою (3) можливо визначити імовірність перебування процесу у певному стані після певного кроку. Тобто, якщо матриця побудована розмірністю 4 на 4, то k буде рівним 4. Це означає, що процес формування натовпу переходить у інший стан після одного з чотирьох кроків.

У випадку формування натовпу, важливим елементом є дослідження інформаційно-комунікаційних процесів та визначення його когнітивних ознак. Для цього кожна ознака відображається випадковою величиною, яка має певну імовірність виникнення, тоді як імовірність появи випадкової величини визначається суб'єктивно. Задавши випадкові величини доцільно знайти їх середнє значення. В такому випадку необхідно визначити математичне сподівання, яке задається (4) [3], [7].

$$M(x) = \sum_i P_i \cdot x_i, \quad (4)$$

де $M(X)$ – математичне сподівання;

p_i – імовірність реалізації i випадкової величини;

x_i – значення i випадкової величини.

У ході формування натовпу, на процеси впливають різні фактори. У такому разі реалізація випадкової величини може бути призупинена. Таким чином, необхідно проаналізувати значення випадкових величин, а саме на скільки вони відрізняються від їх середнього значення. Для цього визначається дисперсія, яка відображає на скільки велике розсіювання випадкової величини відносно отриманого математичного сподівання [3], [7].

$$D(x) = \sum_i (x_i - M(X))^2 \cdot p_i, \quad (5)$$

де $D(X)$ – дисперсія випадкової величини;

x_i – значення i випадкової величини;

$M(X)$ – математичне сподівання випадкової величини;

p_i – імовірність реалізації i випадкової величини.

За (5) спочатку розраховується середнє значення, потім різниця між кожним вихідним і середнім значенням та підноситься до квадрату. Різниця між окремим значенням і середнім відображає міру відхилення. У випадку, якщо розсіювання приймає велике значення – вважається, що процес є неперехідним і натовп в подальшому не буде формуватися, оскільки випадкові величини у натовпі є неузгодженими, що вказує на те, що процес при таких ознаках проходити не може [3], [7].

Для більш точного дослідження потрібно визначити середнє квадратичне відхилення. Воно показує, на скільки в середньому відхиляються конкретні значення ознаки від середнього їх значення.

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}, \quad (6)$$

де $\sigma(X)$ – середнє квадратичне відхилення випадкової величини;
 $D(X)$ – дисперсія випадкової величини.

Велике значення (6) вказує на великий розкид значень стосовно середнього. Менше значення показує, їхню згрупованість навколо середнього значення. У даному випадку велике значення (6) вказує, на наявність аномальної активності у процесі формування натовпу [3], [7].

Отже, імовірнісні характеристики випадкових величин дають змогу установити закономірність процесу формування натовпу. Для отримання більш точних показників необхідно визначити значення достовірності та точності (7).

$$t_{\alpha} = \Phi^{-1}\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (7)$$

де t_{α} – значення достовірності;
 α – значення функції Лапласа.

Під час моделювання натовпу, під обробку потрапляє велика кількість даних: учасники натовпу, характеристики натовпу, такі як щільність, кількість людей, аморфна однорідність, а також ознаки інформаційно-комунікаційних процесів. Тому використовуючи (4), (5) та (6), необхідно визначити на скільки отримані показники є достовірними. Для цього використовується таблиця функції Лапласа з кроком реалізації 0,5, значення якого задається експертом суб'єктивним методом для більш точних показників [8] - [10]. Для визначення значення точності використовується (8).

$$\xi = \frac{\sigma_{\alpha}}{\sqrt{N \cdot t_{\alpha}}}, \quad (8)$$

де ξ – значення точності;
 σ_{α} – середнє квадратичне відхилення;

N – кількість реалізацій процесу формування натовпу.

Під час проведення дослідження формування натовпу на основі його моделювання проводиться експеримент, яким визначається на скільки отримані значення є точними. Від цього залежить подальший (кінцевий) висновок експерта, щодо прийняття рішень про реалізованість процесу. Отже, для проведення експерименту необхідно побудувати імітаційну модель формування натовпу. Дана модель являє собою набір вхідних та вихідних даних, які представляються у вигляді випадкової величини. Тому для визначення точності реалізацій імітаційної моделі необхідно використати (8) [6], [9].

Дослідити значення точності можливо шляхом багаторазового повторення експерименту. Таким чином, чим більша кількість реалізації імітаційної моделі, N , тим більше значення точності [10]. Завдяки її реалізуванню побудуємо функцію розподілу випадкових величин (див. рис. 2). Це дає можливість визначити найбільш імовірні події, що можуть впливати на формування натовпу. Гістограма, що зображена на рис. 2 показує залежність імовірностей у контексті досліджуваного процесу від їх випадкових величин. В даному випадку гістограма приймає два значення випадкових величин: гранична та номінальна межа випадкової величини. Значення випадкових величин функції розподілу знаходяться в одноранговому стані, тобто мають невелику розбіжність. Граничне значення випадкової величини в порівнянні з номінальним значенням є значно більшим. Відповідно граничне значення приймають випадкові величини в ідеальних умовах, тобто коли відсутні збурювальні чинники, тому ймовірність реалізації випадкової величини є досить високою. В свою чергу номінальне значення використовується як правило у звичайних неперехідних процесах [8].

На рис. 3 зображено блок-схему алгоритму, яким визначається функціонування програмного засобу формування натовпу. При введенні даних про інформаційно-комунікаційні процеси, алгоритм обраховує такі показники, як щільність натовпу, швидкість

руху натовпу та аморфну однорідність осіб у натовпі. Після цього за алгоритмом пропонується ввести значення випадкових величин для визначення типу натовпу. Відповідно опираючись на умовні оператори – проводиться порівняння введеного користувачем значення випадкової величини [4], [6]. Якщо значення відповідають еталону – видається результат про тип натовпу: ситуаційний, конвенціональний, експресивний, діючий, панічний та корисливий. Інакше – отримуємо повідомлення про некоректне введення.

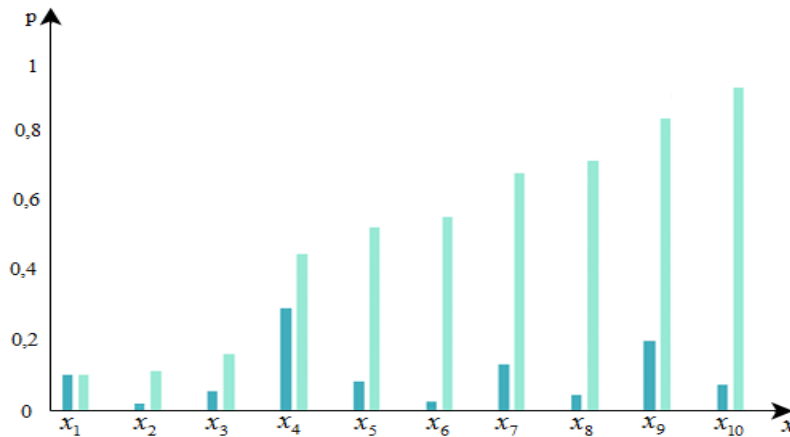


Рисунок 2 – Гістограма розподілу значень випадкової величини x

На основі зібраних даних про випадкові величини, їх імовірності та характеристики можливо побудувати кластеризацію досліджуваного процесу. У якості кластерів використовується натовп в цілому, правоохоронні органи як засіб протистояння натовпу та очільники натовпу, які потрапили туди, як наслідок збурювального впливу самого процесу (особи, які потрапили до натовпу не навмисно) [11]. Це дозволяє наочно оцінити процес скупчення людей під час виконання певних дій.

Потім алгоритм пропонує ввести значення випадкових величин, які характеризують процес формування натовпу та ймовірності цих випадкових величин. На основі введених даних обчислюється значення математичного сподівання, дисперсії та середнього квадратичного відхилення, що дає інформацію про можливі відхилення випадкових величин та їх узагальнюючі характеристики [3], [8].

Наступним кроком є побудова гістограми розподілу випадкової величини. Дана гістограма показує залежність значень випадкових величин від їх імовірностей, при цьому будується граничні та номінальні значення. Побудова кластеризації здійснюється у відповідності із класами, використовуючи при цьому цикл із післяумовою. Тобто якщо умова виконується – кластер будується, інакше – отримуємо повідомлення про помилку.

Кластеризація процесу формування натовпу дозволяє [11]:

- обробити велику кількість даних: учасників натовпу, характеристики натовпу;
- провести аналіз семантичного ядра натовпу та визначити усі перехідні процеси / стани, які проходять у ньому;
- розподілити всі зібрані дані на окремі кластери;
- створити групу кластерів, які подібні за специфікою своєї роботи.

Головне завдання кластеризації – виявити структуру в наборі даних, коли жоден елемент даних не є структурованим. У такому разі неможливо робити аналіз подій та процесів під час формування натовпу, оскільки всі зібрані дані (навіть за умови правильного визначення випадкових величин) являються хаотичним набором даних. Процес кластеризації проводиться за допомогою кластерів, які розбивають дані на певні елементи, які в свою чергу реалізуються в алгоритмі (див. рис. 3).

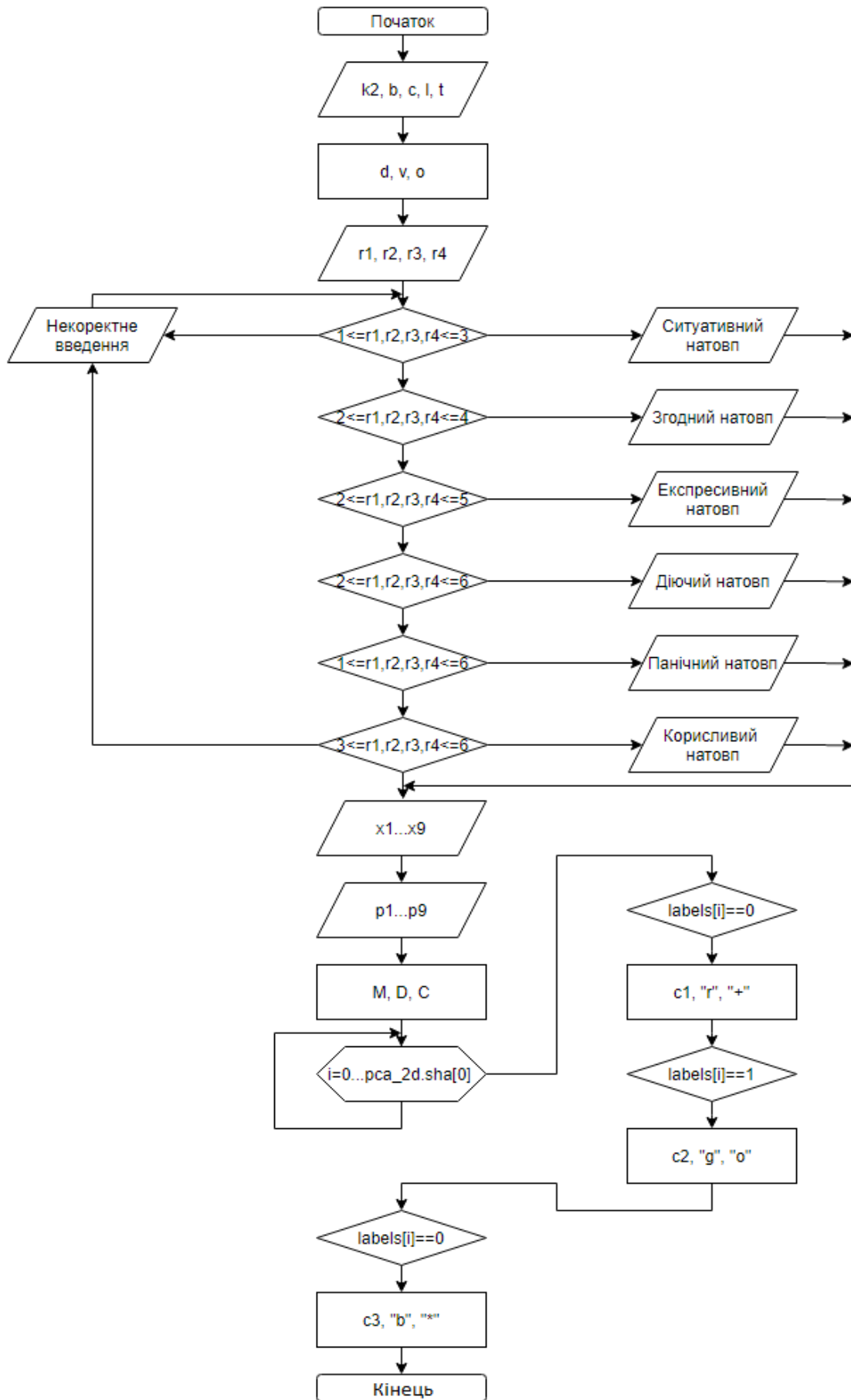


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму прогнозування поведінки натовпу

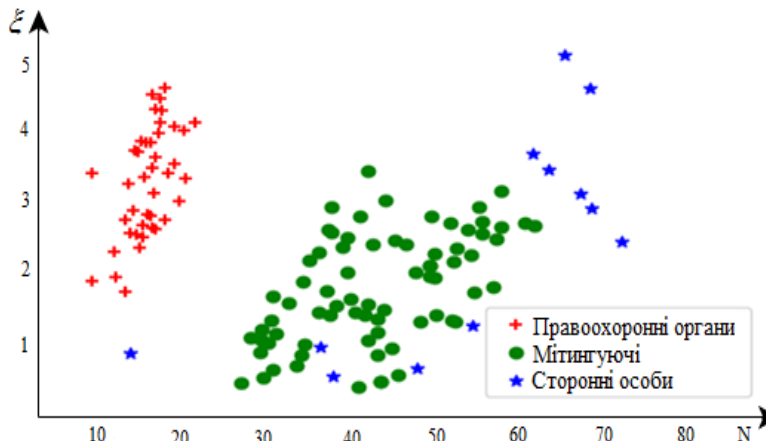


Рисунок 4 – Кластеризація інформаційно-комунікаційних процесів формування натовпу

Кластери систематизують узгоджені між собою дані, які подібні за специфікою своєї роботи [11]. Це дозволяє ефективно оперувати даними та моделювати процес формування натовпу. Оскільки точно відомо, які функції виконує кожний елемент даних. У даному випадку як кластери взято правоохоронні органи, мітингуючі та сторонні особи [6].

У даному випадку кластери дають змогу визначити подальшу дію натовпу в процесі його формування. Враховуючи обчислені вище характеристики, можна сказати, що правоохоронні органи рухаються із меншою швидкістю, ніж мітингуючі, оскільки вони проходять шлях по координатній площині – 0.5 одиниць, а мітингуючі – 1 одиницю. Але враховуючи кластер сторонніх осіб як збурювальний чинник, так і як каталізатор натовпу (це залежить від величини аморфної однорідності людей у натовпі) можна сказати, що кластер “Мітингуючі” є більш потужним, ніж кластер “Правоохоронні органи” [11], [12]. Задача кластеризації може бути виконана статично або динамічно в залежності від методів, які використовуються. Для динамічного виконання кластеризації використовуються автоматизовані системи, які працюють на основі штучного інтелекту та нейронних мереж.

Висновки. Розроблено математичну модель на основі інформаційно-комунікаційних процесів при формуванні натовпу. Використовуючи ланцюги Маркова, можна із заданою точністю змоделювати процес формування натовпу та передбачити процес його переходу в інший стан. Для дослідження структури натовпу та визначення основних його характеристик було використано кластеризацію інформаційно-комунікаційних процесів при формуванні натовпу. Для забезпечення прогнозування поведінки розроблено алгоритм в основу якого покладено умови перебування натовпу в тому чи іншому стані, які в свою чергу порівнюються із еталонним значенням випадкової величини. Отже, дискретна марківська модель інформаційно-комунікаційних процесів формування натовпу дозволяє представити процес формування натовпу на різних етапах його становлення, враховуючи особливості реалізації випадкових величин.

У перспективах подальших досліджень планується автоматизувати дослідження процесу формування натовпу на основі нейронної мережі, яка використовуючи зображення або відеоматеріал дозволить визначити відповідний тип натовпу, а також інформаційно-комунікаційні процеси, які реалізовані в ньому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] В. М. Петрик, М. М. Присяжнюк та Я. М. Жарков, *Інформаційно-психологічне протиборство*. Київ, Україна: Вид-во ІСЗЗІ КІП імені Ігоря Сікорського, 2018.
- [2] О. Цегельник, та Т. Храпко, “Натовп як соціальна небезпека”, *Інноваційні технології у виробництві та підготовці фахівців технологічної, професійної освіти та сфери обслуговування*. Херсон, Україна : Айлант, 2015, с. 91-94.

- [3] В. Н. Турчин, та Е. В. Турчин, *Марковские цепи, основные понятия, примеры, задачи*. Дніпро, Україна: “ЛізуновПрес”, 2017.
- [4] Тези доповідей Одиннадцятої міжнародної науково-практичної конференції. *Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС*, Міністерство освіти і науки України, Національна академія наук України, Академія технологічних наук України, Інженерна академія України. Чернігів, Україна: ЧНТУ, 2016.
- [5] О. В. Махней. *Математичне моделювання*. Івано-Франківськ, Україна: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2015.
- [6] І. О. Хвишун, *Програмування і математичне моделювання*. Київ, Україна: Видавничий Дім “Ін Юре”, 2007.
- [7] Basel M. Al-Eideh, “Quasi Stationary Distributions in Markov Chains with Absorbing Subchains”, *Journal of Information and Optimization Sciences*, vol. 16, no. 2, pp. 281-286, 1994, doi: 10.1080/02522667.1995.10699224.
- [8] Ф. Г. Ващук, О. Г. Лавер, та Н. Я. Шумило, *Математичне програмування та елементи варіаційного числення*. Київ, Україна: Видавництво “Знання”, 2008.
- [9] M. Heiliö, et al. *Mathematical Modelling*, New York, USA: Springer, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-27836-0.
- [10] G. A. Stillman, W. Blum, and G. Kaiser, *Mathematical Modelling and Applications, International Perspectives on the Teaching and Learning of Mathematical Modelling*. New York, USA: Springer, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-62968-1.
- [11] С. С. Забара, Б. М. Недашківський, та С. М. Недашківський, “Нейромережі та аналіз зображень”, *Вісник Університету “Україна”*, № 2, с. 125-133, 2016.
- [12] L. Fumagalli, A. Polenghi, E. Negri, and I. Roda, ”Framework for simulation software selection”, *Journal of Simulation*, vol. 13, iss. 4, pp. 286-303, 2019, doi: 10.1080/17477778.2019.1598782.

Стаття надійшла до редакції 29.01.2020.

REFERENCE

- [1] V. M. Petrik, M. M. Prysyzhnyuk, and Ya. M. Zharkov. *Information and psychological confrontation*. Kyiv, Ukraine: Igor Sikorsky KPI Publishing House, 2018.
- [2] O. Tsehelnik, and T. Khrapko, “Crowd as a social danger”, *Innovatsiini tekhnolohii u vyrobnytstvi ta pidhotovtsi fakhivtsiv tekhnolohichnoi, profesiinoi osvity ta sfery obsluhovuvannia*. Kherson, Ukraine : Ailant, 2015, pp. 91-94.
- [3] V. N. Turchin, and E. V. Turchin. *Markov chains, basic concepts, examples, problems*. Dnipro, Ukraine: LizunovPress, 2017.
- [4] Abstracts of the Eleventh International Scientific and Practical Conference. *Mathematical and simulation modeling of MODS systems*, Ministry of Education and Science of Ukraine, National Academy of Sciences of Ukraine, Academy of Technological Sciences of Ukraine, Engineering Academy of Ukraine. Chernihiv: ChNTU, 2016.
- [5] O. V. Wave. *Mathematical modeling*. Ivano-Frankivsk, Ukraine: Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 2015.
- [6] I. O. Hvischun. *Programming and mathematical modeling*. Kyiv, Ukraine: In Yure Publishing House, 2007.
- [7] Basel M. Al-Eideh, “Quasi Stationary Distributions in Markov Chains with Absorbing Subchains”, *Journal of Information and Optimization Sciences*, vol. 16, no. 2, pp. 281-286, 1994, doi: 10.1080/02522667.1995.10699224.
- [8] F. H. Vashchuk, O. H. Laver, and N. Ya. Shumylo. *There was a noise. Mathematical programming and elements of variational calculus*, Kyiv, Ukraine: Znannia Publishing House, 2008.

- [9] M. Heiliö, et al. *Mathematical Modelling*, New York, USA: Springer, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-27836-0.
- [10] G. A. Stillman, W. Blum, and G. Kaiser. *Mathematical Modeling and Applications, International Perspectives on the Teaching and Learning of Mathematical Modeling*. New York, USA: Springer, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-62968-1.
- [11] S. S. Zabara, B. M. Nedashkivsky, and S. M. Nedashkivsky, "Neural networks and image analysis", *Bulletin of the University "Ukraine"*, no. 2, pp. 125-133, 2016.
- [12] L. Fumagalli, A. Polenghi, E. Negri, and I. Roda, "Framework for simulation software selection", *Journal of Simulation*, vol. 13, iss. 4, pp. 286-303, 2019, doi: 10.1080/17477778.2019.1598782.

VALENTYN PETRYK,
YEVHEN HORONDEI

DISCRETE MARKOV MODEL OF INFORMATION AND COMMUNICATION PROCESSES FOR CROWD FORMATION

The discrete Markov model of information and communication processes that take place in the crowd during its formation is considered. The context of the model description is based on the use of probabilistic characteristics and Markov chains. The use of Markov chains in the context of the study of crowd formation is due to the need to determine the possibility of the crowd functioning in a given state, including the possibility of the process of mutual agreement of probabilistic random variables. Thus, the purpose of this model is to analyze the information and communication processes in the formation of the crowd, because the course of processes into the crowd directly depends on the state in which the crowd is represented and the values of random variables. This allows you to identify and predict the possible course of events in the crowd during its formation. In this case, the whole process of crowd formation can be divided into a certain set of states in which the crowd passes under the influence of external factors. Using the formed states, random sizes of the process of formation of the crowd are defined. This makes it possible to construct a random variable distribution function based on the laws of probability theory, which makes it possible to determine with a given accuracy what is the probability of realization of a certain random variation of the studied transient process. To determine the possibility of functioning of the transient process, the average value of a random variable that realizes the mathematical expectation is calculated. To determine the scattering index of the value of the mathematical expectation, the value of the variance is calculated. Since the process in the course of its implementation can be performed partially, fully, or not performed at all, the standard deviation is calculated, which shows how much on average the specific values of the random variable deviate from their mean value. Thus, the discrete Markov model of information and communication processes for crowd formation allows developing an algorithm that can determine the type of crowd, the possibility of a certain transition process, and the representation of crowd objects in space in the form of clusters. The peculiarity of this model is that the results of the obtained values are processed with a given accuracy.

Keywords: crowd, modeling, software, information and communication processes, information and psychological influence, random variable, characteristics of the random variable, mathematical model.

Петрик Валентин Михайлович, кандидат наук з державного управління, доцент, доцент кафедри управління і тактико-спеціальної підготовки, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна.

ORCID: 0000-0002-7714-0111.

E-mail: ISZZI_open@ukr.net.

Горондей Євген Вікторович, курсант, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна.

ORCID: 0000-0002-6702-2023.

E-mail: evgengorondej@gmail.com.

Petryk Valentyn, candidate of state-owned management, associate professor, associate professor at the management and tactical training academic department, Institute of special communications and information protection of National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute", Kyiv, Ukraine.

Horondei Yevhen, cadet, Institute of special communication and information protection of National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute", Kyiv, Ukraine.