

Національний університет
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”

National University
“Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

СИСТЕМИ управління, навігації та зв'язку

Control, navigation and communication systems

Випуск 1 (67)

Issue 1 (67)

Щоквартальне видання

Засноване у 2007 році

У журналі відображені результати наукових досліджень з розробки та удосконалення систем управління, навігації та зв'язку у різних проблемних галузях.

Засновник і видавець:

Національний університет
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”

Телефон:

+38 (050) 302-20-71

E-mail редколегії:

kuchuk_nina@ukr.net

Інформаційний сайт:

<http://journals.nupp.edu.ua/sunz>

Quarterly

Founded in 2007

Journal represent the research results on the development and improvement of control, navigation and communication systems in various areas

Founder and publisher:

National University
“Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

Phone:

+38 (050) 302-20-71

E-mail of the editorial board:

kuchuk_nina@ukr.net

Information site:

<http://journals.nupp.edu.ua/sunz>

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор

Журнал індексується міжнародними наукометричними базами: Index Copernicus (ICV = 81.37), General Impact Factor, Google Scholar, Academic Resource Index, Scientific Indexed Service

Затверджений до друку Вченою Радою Національного університету

“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка” (протокол від 01 квітня 2022 року № 10).

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 24464-14404 ПР від 27.03.2020 р.

Включений до “Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії” до категорії Б – наказами МОН України від 17.03.2020 № 409 та від 09.02.2021 № 157

Полтава • 2022

Редакційна колегія

Головний редактор:

КОСЕНКО Віктор Васильович
(*д-р техн. наук, проф., Полтава, Україна*).

Заступники головного редактора:

НЕСТЕРЕНКО Катерина Сергіївна
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ШЕФЕР Олександр Віталійович
(*д-р техн. наук, доц., Полтава, Україна*).

Члени редакційної колегії:

БЛАУНШТЕЙН Натан Олександрович
(*д-р техн. наук, проф., Ізраїль*);
БОГОМ'Я Володимир Іванович
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ВАРБАНЕЦЬ Роман Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Одеса, Україна*);
ВЕСОЛОВСЬКИЙ Кшиштоф
(*д-р техн. наук, проф., Польща*);
ГАВРИЛКО Євген Володимирович
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*);
ГАШИМОВ Ельшан Гіяс огли
(*д-р наук, проф., Баку, Азербайджан*);
ГЛИВА Валентин Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ДАКІ Олена Анатоліївна
(*д-р техн. наук, доц., Ізмаїл, Україна*);
ЗАЩЕПКИНА Наталія Миколаївна
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
КАСАТКІНА Наталія Вікторівна
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*);
КОВАЛЕНКО Андрій Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
КОРОБКО Богдан Олегович
(*д-р техн. наук, доц., Полтава, Україна*);
КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
КУЧУК Георгій Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
ЛЕВЧЕНКО Лариса Олексіївна
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*);
ЛУКОВА-ЧУЙКО Наталія Вікторівна
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*);
ЛУНТОВСЬКИЙ Андрій Олегович
(*д-р техн. наук, проф., Німеччина*);
ПАВЛЕНКО Максим Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
ПИСАРЧУК Олексій Олександрович
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ПОДКОПАЄВ Сергій Вікторович
(*д-р техн. наук, проф., Покровськ, Україна*);
СЕМЕНОВ Сергій Геннадійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
СТАНКУНАС Йонас
(*д-р техн. наук, проф., Вільнюс, Литва*);
ТИМОЧКО Олександр Іванович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
ТИМОЦЬОК Олена Миколаївна
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ТРИСТАН Андрій Вікторович
(*д-р техн. наук, доц., Харків, Україна*);
ФРОЛОВ Євгеній Андрійович
(*д-р техн. наук, проф., Полтава, Україна*);
ЧОРНИЙ Олексій Петрович
(*д-р техн. наук, проф., Кременчук, Україна*);

Відповідальний секретар:

КУЧУК Ніна Георгіївна
(*д-р техн. наук, доц., Харків, Україна*).

Технічний секретар:

ПЕТРОВСЬКА Інна Юріївна
(*магістр комп. інж., Харків, Україна*).

Editorial board

Editor-in-Chief:

Viktor KOSENKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Poltava, Ukraine*).

Associates editor:

Katerina NESTERENKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Oleksandr SHEFER
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Poltava, Ukraine*).

Editorial board members:

Nathan BLAUNSTEIN
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Israel*);
Volodymyr BOHOMYA
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Roman VARBANETS
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Odesa, Ukraine*);
Krzysztof WESOŁOWSKI
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Poland*);
Yevhen HAVRILKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Elshan Giyas oglu HASHIMOV
(*Dr. Sc., Prof., Baku, Azerbaijan*);
Valentyn GLYVA
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Olena DAKI
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Izmail, Ukraine*);
Nataliia ZASHCHEPKINA
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kyiv, Ukraine*);
Natalia KASATKINA
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kyiv, Ukraine*);
Andriy KOVALENKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Bohdan KOROBKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Poltava, Ukraine*);
Viktor KRASNOBAYEV
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Heorhii KUCHUK
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Larysa LEVCHENKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kyiv, Ukraine*);
Natalia LUKOVA-CHUIKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kyiv, Ukraine*);
Andriy LUNTOVSKYY
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Maksim PAVLENKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Oleksii PYSARCHUK
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Serhii PODKOPAIEV
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Pokrovsk, Ukraine*);
Serhii SEMENOV
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Jonas STONKUNAS
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Vilnius, Lithuania*);
Oleksandr TYMOCHKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Olena TYMOSHCHUK,
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Andrii TRYSTAN
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Yevhen FROLOV
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Poltava, Ukraine*);
Oleksii CHORNYI
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kremenchuk, Ukraine*).

Responsible secretary:

Nina KUCHUK
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine*).

Technical secretary:

Inna PETROVSKA
(*MSD of Comp. Eng., Kharkiv, Ukraine*).

З М І С Т

НАВІГАЦІЯ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

<i>Андреев С. М., Горелик С. І., Нечаусов А. С., Саул-Гоце Д. К.</i> Застосування геоінформаційних технологій для побудови картографічних моделей небезпечних метеорологічних явищ	4
<i>Бандурка О. І., Свинчук О. В.</i> Метод ідентифікації космічних знімків для прогнозування лісових пожеж	13

УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Гапон Д. А., Денисенко М. А., Зуєв А. О., Леценко В. М., Луїнін Д. О.</i> Система управління сушінням капілярно-пористих матеріалів за допомогою квадратичного функціоналу	19
<i>Запоровський М. П., Зиков І. С., Мезенцев М. В., Псков В. І.</i> Оптимізаційна модель електропротяга з електродвигуном постійного струму	23
<i>Калітін Є. І., Кусков М. А., Бельорін-Еррера О. М.</i> Особливості повороту шарнірно-зчленованого трактора	30
<i>Шефер О. В., Лактіонов О. І., Михайленко О. В.</i> Дослідження процесу прийняття рішень у складних технічних системах	34

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Barabash O., Kolumbet V.</i> Multiagent approach to computer management in a heterogeneous distributed computer environment	38
<i>Барковська О. Ю., Холєв В. О., Поліканов Д. А.</i> Значущість обчислювальних систем із масовим паралелізмом при обробці сканованих документів	43
<i>Волк М. О., Луїнін О. Г.</i> Комп'ютерні системи із самовідновленням	48
<i>Гавриленко С. Ю., Зозуля В. Д.</i> Дослідження методів виявлення аномалій на етапі попередньої обробки даних	52
<i>Голубничий Д. Ю., Коломійцев О. В., Третяк В. Ф., Ключка Я. О., Рибальченко А. О.</i> Архітектура системи обміну медичними даними пацієнтів з лікарями на основі IOTA	57
<i>Kapiton A., Varanenko R., Franchuk T., Diachenko O.</i> Information system of legal protection of intellectual property	62
<i>Krasnobayev Victor, Koshman Sergey, Kovalchuk Dmytro.</i> The concept of using the number system in the residual classes for building artificial intelligence system	65
<i>Малохвій Е. Е., Молчанов Г. І., Паржун Ю. В.</i> Дослідження протоколів передачі даних в умовах Інтернету речей	71
<i>Martovytskyi V., Koltun Y., Holubnychy D., Sukhoteplyi V.</i> Technology for monitoring the functioning state of distributed computer systems	75
<i>Сисоєв І. К., Гавриленко В. В.</i> Адаптивний алгоритм балансування навантаження в додатках з використанням технології контейнеризації	81
<i>Смірнова Т. В., Константинова Л. В., Смірнов С. А., Якименко Н. М., Смірнов О. А.</i> Дослідження стійкості до лінійного криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах	84
<i>Чуйко О. А., Лисиця Д. О., Кучук Г. А.</i> Програмно-апаратний комплекс керування спенічним освітлювальним обладнанням	90
<i>Шатовалова С. І., Гулак О. С.</i> Блокчейн технології в банківській сфері	94
<i>Янко А. С., Мартиненко А. М., Трикоз В. В.</i> Мережні сенсори та детектори, як ефективний інструмент моніторингу даних	98
<i>Яковський О. А., Яковська Д. О., Полікарпова Г. В.</i> Автоматизована система для моделювання термічних опіків шкіри у експериментальних тварин	102
<i>Ярошевич Р. О., Коваленко А. А.</i> Аналіз технологій підвищення ефективності Тактильного Інтернету у комп'ютерних мережах	106

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

<i>Іванець Г. В., Іванець М. Г., Толкунов І. О., Попов І. І.</i> Методика підвищення точності прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру на основі методу попарного врахування аргументів	111
<i>Ковальова А. В.</i> Оцінка і класифікація виробничого ризику при виконанні дорожніх робіт на прикладі міста Києва	121
<i>Панова О. В., Фролов В. Ф., Левченко Л. О.</i> Моніторинг низькочастотного звукового та інфразвукового навантаження на виробниче середовище та засоби його зниження	127
<i>Урум Н. С., Іваненко В. М., Федунів В. М., Бажак О. В.</i> Застосування індивідуальних рятувальних засобів для виживання екіпажу і пасажирів після покидання судна	131

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	136
----------------------------------	-----

Г. В. Іванець¹, М. Г. Іванець², І. О. Толкунов¹, І. І. Попов¹

¹ Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

² Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ПОПАРНОГО ВРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ

Анотація. Ефективність планування та реалізації заходів щодо запобігання надзвичайним ситуаціям природного характеру визначається якістю прогнозування загроз їх виникнення. Запобігання надзвичайним ситуаціям ґрунтується на аналізі та точності прогнозуванні можливості виникнення подібних надзвичайних ситуацій. В статті обґрунтовано вибір моделі зміни узагальненого параметру процесу зміни надзвичайних ситуацій природного характеру. В якості узагальненого параметру розглядається кількість надзвичайних ситуацій за деякий проміжок часу. Із врахуванням дії всіх дестабілізуючих факторів цей процес доцільно представити у вигляді адитивної суми систематичної складової, яка характеризує незворотні процеси дрейфу параметрів, періодичної і випадкової складових. Оцінка всіх трьох складових процесу зміни надзвичайних ситуацій природного характеру дозволить не тільки здійснити прогнозування по кожній із них, але й глибше проаналізувати причини виникнення надзвичайних ситуацій. Розроблена методика підвищення точності прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру на основі методу попарного врахування аргументів. Методика дозволяє підвищити точність прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру за рахунок оцінки систематичної та періодичної складових, а також прогнозування випадкової складової процесу зміни природних надзвичайних ситуацій. Проведені експериментальні дослідження показали ефективність застосування методу попарного врахування аргументів для прогнозування випадкової складової процесу виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру на основі розробленої методики. При цьому точність прогнозу кількості надзвичайних ситуацій в порівнянні з статистико-ймовірним методом прогнозу підвищилася майже в 1,7 рази. Це дозволяє обґрунтовано підходити до планування та проведення організаційно-технічних заходів, спрямованих на запобігання та ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій як в масштабах держави, так і її регіонів.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, узагальнений параметр, систематична складова, періодична складова, випадкова складова, модель, метод попарного врахування аргументів.

Вступ

Захист населення та територій від надзвичайних ситуацій (НС) є однією з основних задач системи цивільного захисту (ЦЗ) держави. Забезпечення безпеки при НС вимагає надійного функціонування системи реагування, адекватної рівням і характеру загроз [1].

В останні п'ять років у всьому світі спостерігається різкі зміни клімату, підвищення рівня сейсмічної активності земної кори, підвищення епідеміологічного захворювання людей, зростання розмірів та потужності технічних систем, прогресуючого втручання людини в природу, що збільшує ризики виникнення різноманітних природних катастроф [2]. Це в свою чергу призводить до збільшення кількості та масштабів НС природного характеру, які негативно впливають на оточуюче навколишнє середовище [3, 4] та економіку різних країн [5, 6], супроводжуються не тільки матеріальними, але й людськими втратами.

Наявність в Україні значних територій з несприятливим природним впливом та схильністю до проявів небезпечних природних явищ посилює гостроту проблеми забезпечення національної безпеки держави з метою сталого розвитку країни. Наприклад, тільки за останні п'ять років в Україні виникло 418 НС природного характеру, серед яких спостерігається тенденція зростання кількості метеорологічних НС. НС унаслідок лісових пожеж та медико-біологічних НС [7, 8]. Рівень природної небезпеки визнача-

ється чинниками природного походження, які виникають на території України. Різноманіття даних чинників та їх співвідношення вказує на різноманітність регіонів України за видами природної небезпеки та за ступенем їх впливу на життєдіяльність населення України [9]. В природній сфері негативна дія цих чинників посилюється природними особливостями території України, несприятливими наслідками глобальних змін клімату, не виконанням норм та правил безпечного проведення господарської діяльності на небезпечних природних територіях.

НС, підпорядковуючись об'єктивним та людським факторам виникнення, постійно змінюються і в першу чергу це відноситься до методів, форм та засобів їх подолання. На сьогоднішній день для успішної діяльності щодо подолання або попередження наслідків НС необхідний прогноз можливого протікання тих чи інших негативних процесів, розробка та удосконалення інструментів та способів зміни ситуації в бажаному напрямку.

Територія України, як система з територіально-часовим розподілом параметрів життєдіяльності, в процесі свого функціонування та розвитку створює умови для виникнення загроз, які негативно впливають на стан природного екологічного середовища.

Для підрозділів ЦЗ неможливе будь-яке експериментування над НС. Тому важливе значення набуває математичне моделювання, яке дає змогу вивчати явища без проведення експериментів над ними.

В умовах часткової невизначеності зв'язків між досліджуваними параметрами протікання негативних процесів та факторів, що впливають на них, виникає проблема вибору структури моделі і методів прогнозування. Вони повинні найбільш точно описувати та пояснювати процеси на основі статистичних даних моніторингу з наступним аналізом для прийняття адекватних і обґрунтованих рішень [10]. Будь-яке дослідження завжди об'єднує математичні моделі та статистичні дані. Статистичні дані є чисельними характеристиками можливості виникнення або протікання НС. Вони формуються під впливом багатьох факторів, які не завжди можна проконтролювати ззовні. Не контрольовані фактори можуть приймати випадкові значення і тим самим обумовлювати випадковість даних. В цих умовах дуже важливо вибрати такі методи прогнозування, які найбільш точно могли б описати залежність результуючих змінних від множини контрольованих факторів, що впливають на них.

Виходячи з цього, розробка методики підвищення точності прогнозування НС природного характеру на основі методу попарного врахування аргументів є актуальною науково-практичною задачею в сфері ЦЗ.

1. Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Практика останніх років показує сильний вплив на економіку України НС природного характеру різних видів. Це вимагає системної діяльності відносно боротьби з цими стихіями. Важливим аспектом цієї діяльності є своєчасне прогнозування можливості виникнення НС з метою завчасного планування заходів щодо попередження чи мінімізації їх наслідків.

Методи прогнозування НС залежать від наявної статистичної інформації про НС та динаміку їх розвитку за деякий попередній період моніторингу, а також причини та фактори, які зумовлюють виникнення НС різного характеру.

Аналіз літературних джерел [11,12] свідчить про те, що в більшості випадків для прогнозування НС природного характеру використовуються імовірно-статистичний, імовірно-детермінований, детерміновано-імовірнісний методи прогнозування. Але при застосуванні цих методів виникають складності розробки моделей процесів виникнення НС, що значно знижує якість проведення аналізу розвитку даних процесів в динаміці.

В роботі [13,14] автори пропонують використовувати для прогнозування НС різні варіації регресійних моделей (лінійні, нелінійні, ступеневі, порядкові, авторегресійні і так далі). Недоліками лінійних регресійних моделей є низька адаптивність і відсутність спроможності моделювання нелінійних процесів. Основним недоліком нелінійних регресійних моделей [15] є складність визначення виду функціональної залежності, а також труднощі визначення параметрів моделі.

Методики прогнозування ризиків, пов'язаних з НС внаслідок лісових пожеж, розглянуті в роботі [16]. Але при цьому математичне описування взаємозв'язків фізичних процесів на різних стадіях

виникнення та протікання НС даного виду не запропоновано.

Процеси виникнення природних НС, зазвичай, є нелінійними. Для моделювання таких процесів автори [17] пропонують використовувати нейромережові моделі. Недоліками таких моделей є відсутність прозорості моделювання, складність вибору архітектури та алгоритму навчання нейронної мережі.

Авторами роботи [18] розглянута важливість точного прогнозування НС, пов'язаних з паводками, але ніяких методів та способів прогнозування не запропоновано.

Таким чином, проведений аналіз літературних джерел показує, що при прогнозуванні НС природного характеру не завжди враховуються тенденції періодичних змін НС та можливість прогнозування випадкової складової процесу виникнення подібних НС. Це вказує на необхідність розробки методики підвищення точності прогнозування НС природного характеру за рахунок використання методу попарного врахування аргументів для прогнозу випадкової складової процесу виникнення природних НС.

2. Мета та завдання дослідження. Мета дослідження полягає в розробці методики підвищення точності прогнозування НС природного характеру на основі методу попарного врахування аргументів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- обґрунтувати вибір моделі узагальненого параметру процесу зміни НС природного характеру;
- розробити методику підвищення точності прогнозування НС природного характеру на основі методу попарного врахування аргументів;
- перевірити ефективність застосування методики для прогнозування НС природного характеру.

Результати досліджень

1. Обґрунтування вибору моделі узагальненого параметру процесу зміни надзвичайних ситуацій природного характеру. Для прогнозування НС за узагальненими параметрами необхідно знати залежність його від дії негативних дестабілізуючих факторів. До узагальненого параметру [10] висувуються наступні вимоги: вибраний показник повинен відображати основні закономірності виникнення НС і відповідати меті дослідження; повинен характеризувати процес виникнення НС як єдине ціле; повинен забезпечувати можливість одержання кількісної оцінки з необхідною точністю.

В якості узагальненого параметру процесу виникнення НС природного характеру будемо розглядати їх кількість за деякий проміжок часу (наприклад за рік). Із врахуванням дії всіх дестабілізуючих факторів цей процес доцільно представити у вигляді адитивної суміші систематичної складової, яка характеризує незворотні процеси дрейфу параметрів, періодичної і випадкової складових [10]:

$$n_{ПХ}(t) = C(t) + X(t) + \xi(t), \quad (1)$$

де $n_{ПХ}(t)$ – функція – зміни кількості НС; $C(t)$ – систематична (не випадкова) складова процесу зміни кількості НС; $X(t)$ – періодична (не випадкова) складова

процесу зміни кількості НС: $\xi(t)$ – випадкова складова процесу зміни кількості НС.

Така модель дозволить найбільш повно врахувати вплив всіх дестабілізуючих факторів на процес зміни НС природного характеру.

Систематичну складову (тренд) $C(t)$ описують лінійку регресії у вигляді степеневого поліному:

$$C(t) = r_0 + r_1 t + r_2 t^2 + \dots + r_k t^k. \quad (2)$$

Ступінь поліному вибирається таким чином, щоб кількість заданих точок була в п'ять разів вище ступеня полінома. Коефіцієнти полінома можна знайти методом найменших квадратів (МНК) [10].

Після оцінки і вилучення її з реалізації процесу $n_{IIK}(t)$ вирішується задача виявлення та оцінки періоду і значень періодичної складової. Нехай $Y(t) = n_{IIK}(t) - C(t)$ випадкова реалізація після вилучення систематичної складової, яка містить суму періодичної та випадкової складових. В подальшому для зручності проведення досліджень значення реалізацій $Y(t)$, $X(t)$, $\xi(t)$ за період моніторингу будемо представляти у вигляді матриць Y , X та ξ . З врахуванням цього модель процесу $Y(t)$ представимо у вигляді:

$$Y = 1 \otimes X + \xi, \quad (3)$$

де $Y = (y_0, y_1, \dots, y_{n-1})^T$ – матриця значень випадкової реалізації після вилучення систематичної складової розмірністю $n \times 1$; $1 = (1, 1, 1, \dots, 1)^T$ – матриця розмірністю $q \times 1$; $\xi = (\xi_0, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{n-1})^T$ – матриця значень випадкової складової розмірністю $n \times 1$; $X = (x_0, x_1, \dots, x_{p-1})^T$ – матриця значень періодичної складової за період розмірністю $p \times 1$; \otimes – символ добутку Кроннекера; $n = q \cdot p$ – тривалість моніторингу; p – період періодичної складової; q – кількість періодів періодичної складової в реалізації.

Задача виявлення та оцінки періодичної складової [19] зводиться до задачі перевірки статистичних гіпотез. Знайдемо логарифм відношення правдоподібності

$$\ln l(Y) = \ln \left(P_y(Y/X \neq 0) / P_y(Y/X = 0) \right), \quad (4)$$

де
$$P_y(Y/X \neq 0) = \left(\sqrt{2\pi}\sigma \right)^{-n} \times \exp \left\{ -0,5 \cdot \sigma^{-2} \cdot (Y - 1 \otimes X)^T (Y - 1 \otimes X) \right\}$$
 – умовна

щільність розподілу дискретних значень Y при наявності в реалізації періодичної складової (функція правдоподібності);

$P_y(Y/X = 0) = \left(\sqrt{2\pi}\sigma \right)^{-n} \cdot \exp \left\{ -0,5 \cdot \sigma^{-2} \cdot Y^T Y \right\}$ – умовна щільність розподілу дискретних значень Y при відсутності в реалізації періодичної складової,

$$\ln l(Y) = 0,5 \cdot \sigma^{-2} \cdot \left[2Y^T (1 \otimes X) - q(X^T X) \right]. \quad (5)$$

В подальшому логарифм відношення правдоподібності будемо позначати $\ln l$.

В якості критерію для перевірки справедливості висунутої гіпотези використовується випадкова величина d , яка підпорядкована розподілу χ^2 [19]:

$$d = \sum_{i=0}^{p-1} \left(\sqrt{q/\sigma^2} \cdot \hat{x}_i \right)^2, \quad (6)$$

де $\hat{\sigma}^2$ – оцінки дисперсії σ^2 для різних значень p .

Оцінка дисперсії знаходиться у відповідності з виразом:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} (Y - 1 \otimes \hat{X})^T (Y - 1 \otimes \hat{X}), \quad (7)$$

де \hat{X} – матриця оцінок значень дискретних відліків періодичної складової за період.

Якщо статистичне значення логарифма відношення правдоподібності перевищує критичне значення d (поріг), тоді приймається рішення про наявність періодичної складової з періодом \hat{p} , а оцінки її значень розраховуються у відповідності з виразом:

$$\hat{x}_i = \frac{1}{q} \sum_{s=0}^q y_{i+sp}, \quad (8)$$

де $i = 0, 1, 2, \dots, (p-1)$.

Позначимо через $\xi = Y - X$ випадкову складову процесу зміни узагальненого параметру і будемо розглядати її як стаціонарний випадковий процес з математичним очікуванням рівним нулю. В такому випадку для прогнозу випадкової складової можна використати метод групового врахування аргументів (МГВА), зокрема метод попарного врахування аргументів (МПВА) [10]. МПВА полягає в рекурентному вирішенні кількох систем нормальних рівнянь, складених для кожної пари аргументів і для нових допоміжних змінних.

Таким чином, з врахуванням дії всіх дестабілізуючих факторів процес зміни узагальнених параметрів НС природного характеру доцільно представити у вигляді адитивної суми систематичної складової, яка характеризує незворотні процеси дрейфу параметрів, періодичної і випадкової складових. Оцінка всіх трьох складових процесу зміни НС природного характеру дозволить не тільки здійснити прогнозування по кожній із них, але й глибше проаналізувати причини виникнення НС природного характеру.

2. Розробка методики підвищення точності прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру на основі методу попарного врахування аргументів. Методику підвищення точності прогнозування кількості НС природного характеру за рахунок врахування випадкової складової цього процесу на основі МПВА розглянемо на конкретному прикладі.

Динаміка зміни кількості НС природного характеру в Україні за 1997-2020 роки [7, 8] представлена на рис. 1. Для дослідження скористаємося фактографічною інформацією про НС природного характеру за період з 1997 по 2013 роки.

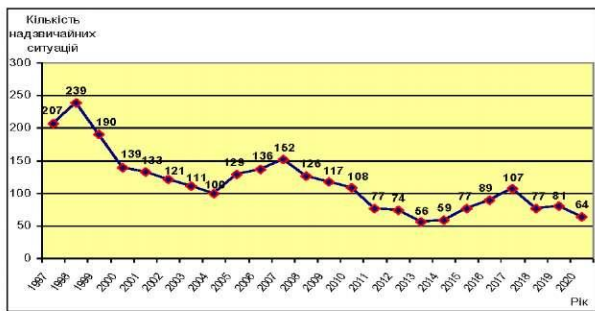


Рис. 1. Динаміка зміни кількості надзвичайних ситуацій природного характеру на протязі 1997-2020 років

Кожного разу всі наявні дані будемо використовувати для вираження коефіцієнтів поліномів, а дані за останній рік залишаємо для перевірки точності (тобто за даними попередніх 16 років на 17 рік).

Оцінка систематичної складової. Систематичну складову (тренд) $C(t)$ описують лінією регресії у вигляді ступеневого поліному. Оскільки довжина вхідної реалізація $n_{ПХ}(t)$ $n = 15$ ($t = 1, 2, 3, \dots, 16$), то систематична складова $C(t)$ представляє поліном третього ступеня вигляду:

$$C(t) = 290,7335 - 57,5006t + 6,4300t^2 - 0,2321t^3. \quad (9)$$

Графік систематичної складової зображено на рис. 2.

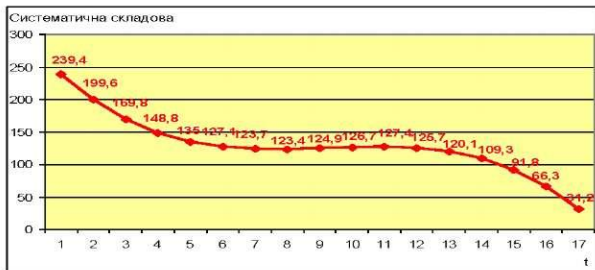


Рис. 2. Графік систематичної складової процесу виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру

На графіку точка 1 відповідає 1997 року і так далі, а точка 17 – відповідно 2013 року. Систематична складова (тренд) є не випадковою і одержане рівняння дозволяє робити прогноз її значення як мінімум на рік вперед.

Виявлення періодичної складової процесу виникнення НС. Після оцінки і вилучення з реалізації $n_{ПХ}(t)$ систематичної складової виникає задача виявлення та оцінки періоду і дискретних значень відліків періодичної складової.

Графік випадкового процесу після вилучення систематичної складової зображено на рис. 3.

Найбільше значення логарифму відношення правдоподібності спостерігається при $p = 8$, тобто в реалізації кількість періодів $q = 2$. При цьому маємо:

1. Оцінки дискретних значень відліків періодичної складової при $p = 8$:

$$\hat{X} = \begin{pmatrix} -14,2 & 22,4 & 22,4 & -4,7 \\ -2,5 & -3,7 & -13,8 & -7,9 \end{pmatrix}^T. \quad (10)$$

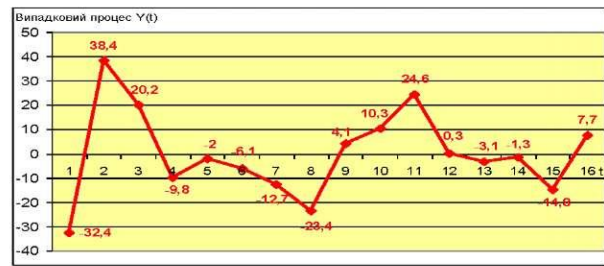


Рис. 3. Графік реалізації випадкового процесу після вилучення систематичної складової зміни надзвичайних ситуацій природного характеру

2. В даному випадку значення випадкової величини $d = 15,8$.

3. Поріг виставляємо для даного $p = 8$ з надійністю $P = 0,95$ (рівень значимості $\alpha = 0,05$) у відповідності з розподілом χ^2 , значення якого дорівнює 15,5.

4. Оскільки статистичне значення критерію d для максимального значення логарифму відношення правдоподібності перевищує поріг виявлення, тоді з вірогідністю $P = 0,95$ можна стверджувати, що у випадковому процесі присутня періодична складова, а оцінка її періоду $\hat{p} = 8$. Графік періодичної складової зображено на рис. 4.

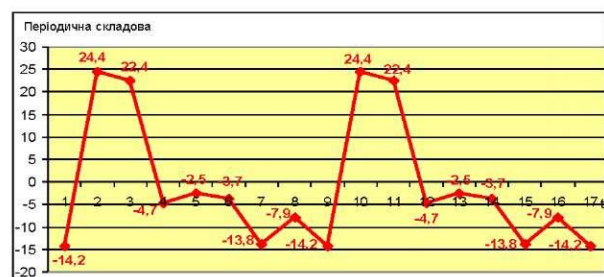


Рис. 4. Графік періодичної складової процесу виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру

Прогнозування випадкової складової процесу виникнення НС. Після оцінки і вилучення з реалізації $n_{ПХ}(t)$ систематичної та періодичної складових виникає задача прогнозу випадкової складової. Графік випадкової складової зображено на рис. 5.

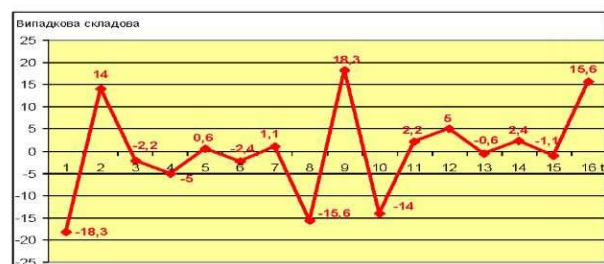


Рис. 5. Графік випадкової складової процесу виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру

Прогнозування випадкової складової зміни НС природного характеру виконаємо у відповідності з методом МПВА. Вибір структури і параметрів

моделі випадкової складової $\xi(t)$ здійснюється на основі інформації короткої вибірки фактографічних даних про НС. Максимальна можлива точність прогнозу досягається за допомогою ряду підрахунків при різних значеннях коефіцієнтів відбору даних, тобто оптимального виставлення порогів. Для прогнозування випадкової складової $\xi(t)$ процесу $n_{ПХ}(t)$ виберемо час передісторії в п'ять років і будемо враховувати залежність випадкової складової $\xi(t)$ від кількості НС різних видів природного характеру і їх відхилень від своїх нелінійних трендів. Спочатку виконаємо відбір корисних даних для прогнозу випадкової складової $\xi(t)$.

Перший відбір даних (за довжиною врахованої передісторії). Перший відбір даних проводиться за кількістю вхідних даних за останні п'ять років. Позначимо через N_0 максимально можливу кількість вихідних даних (ознак) за період моніторингу НС:

$$N_0 = N_{01} \cdot T = 192, \quad (11)$$

де $N_0 = 192$ – максимально можлива кількість ознак за період моніторингу; $N_{01} = 12$ – кількість враховуваних змінних ($\xi_0(t)$ – нелінійний тренду для випадкової складової; $\Delta\xi(t)$ – відхилення випадкової складової від свого нелінійного тренду; $v_1(t)$ – кількість НС геологічного характеру за кожний рік спостереження; $\Delta v_1(t)$ – відхилення кількості НС геологічного характеру від свого нелінійного тренду; $v_2(t)$ – кількість НС метеорологічного характеру за кожний рік спостереження; $\Delta v_2(t)$ – відхилення кількості НС метеорологічного характеру від свого нелінійного тренду; $v_3(t)$ – кількість НС гідрологічного характеру за кожний рік спостереження; $\Delta v_3(t)$ – відхилення кількості НС гідрологічного характеру від свого нелінійного тренду; $v_4(t)$ – кількість НС, пов'язаних з пожежами в природних екологічних системах, за кожний рік спостереження; $\Delta v_4(t)$ – відхилення кількості НС, пов'язаних з пожежами в природних екологічних системах, від свого нелінійного тренду; $v_5(t)$ – кількість НС медико-біологічного характеру за кожний рік спостереження; $\Delta v_5(t)$ – відхилення кількості НС медико-біологічного характеру від свого нелінійного тренду); $T = 16$ – період моніторингу (16 попередніх років).

З врахуванням цього коефіцієнт першого відбору даних (ознак) буде дорівнювати:

$$k_1 = \frac{t_1}{T} = 0,3125, \quad (12)$$

де k_1 – коефіцієнт першого відбору даних; $t_1 = 5$ – враховуваний час передісторії.

Тоді число ознак, які будуть використані в подальшому, дорівнює:

$$N_1 = k_1 \cdot N_0 = 60, \quad (13)$$

де N_1 – число враховуваних ознак після першого відбору даних. До цих 60 ознак увійдуть 30 значень змінних і 30 значень їх відхилень від своїх нелінійних трендів за останні п'ять років. Графіки цих ознак наведені на рис. 6-11.



Рис. 6. Графік нелінійного тренду та відхилень випадкової складової від нього



Рис. 7. Графік геологічних надзвичайних ситуацій та їх відхилень від нелінійного тренду



Рис. 8. Графік метеорологічних надзвичайних ситуацій та їх відхилень від нелінійного тренду

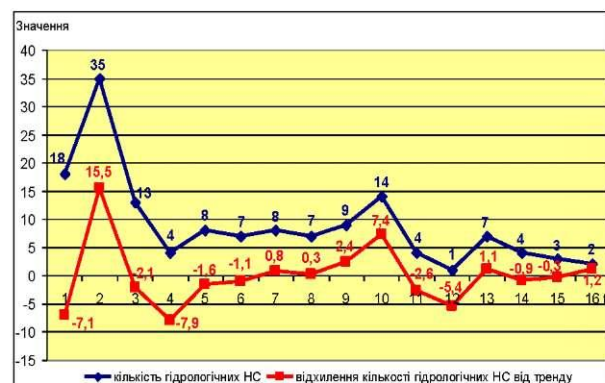


Рис. 9. Графік гідрологічних надзвичайних ситуацій та їх відхилень від нелінійного тренду



Рис. 10. Графік надзвичайних ситуацій, пов'язаних з пожежами в природних екосистемах, та їх відхилень від нелінійного тренду



Рис. 11. Графік НС медико-біологічних надзвичайних ситуацій та їх відхилень від нелінійного тренду

Другий відбір даних (за коефіцієнтами взаємної кореляції ознак). Другий відбір парних ознак виконуємо на підставі підрахунку коефіцієнтів кореляції випадкової складової і всіх ознак, що пройшли перший відбір. Для розрахунку коефіцієнтів заповнюємо таблицю 1, в якій вказані змінні, що нас цікавлять, взяті зі зсувом на один, два, три, чотири і п'ять років назад. За величиною коефіцієнта взаємної кореляції ознак (не враховуючи його знака), залишаємо дванадцять ознак ($N_2 = 12$), коефіцієнти кореляції яких перевищують або дорівнюють порогу. На основі експериментальних досліджень порогове значення коефіцієнта кореляції вибрано $\Theta_2 = 0,35$, при якому похибки прогнозу найменші. Коефіцієнт взаємної кореляції обчислюється на підставі виразу:

$$K_{\xi v_i}(k) = \frac{\sum_{t=k+1}^n \xi(t) \cdot v_i(t-k)}{\sqrt{\sum_{t=k+1}^n \xi^2(t) \sum_{t=k+1}^n v_i^2(t-k)}}, \quad (14)$$

де $k = 1, 2, \dots, 5$ ($n = 16$).

За величиною коефіцієнта кореляції (табл. 1) проходять такі ознаки:

$$\begin{aligned} B_1(t) &= \xi_0(t-2); B_2(t) = \xi_0(t-1); B_3(t) = \Delta \xi_0(t-1); \\ B_4(t) &= v_5(t-5); B_5(t) = v_3(t-5); B_6(t) = v_2(t-5); \\ B_7(t) &= v_2(t-2); B_8(t) = \xi_0(t-3); \\ B_9(t) &= v_4(t-2); B_{10}(t) = \Delta v_2(t-4); \\ B_{11}(t) &= \Delta v_2(t-3); B_{12}(t) = v_5(t-1). \end{aligned} \quad (15)$$

Таблиця 1 – Розрахунки коефіцієнтів взаємної кореляції

k	1	2	3	4	5
ξ_0	0,585539	0,624862	0,394268	0,02503	-0,11853
$\Delta \xi$	-0,51818	-0,12494	0,00244	0,040601	0,25384
v_1	-0,2046	-0,0541	0,088829	-0,12212	0,000365
Δv_1	-0,23004	-0,01013	0,084727	-0,26804	-0,06309
v_2	-0,13094	-0,40818	-0,17154	-0,17002	-0,41084
Δv_2	-0,08246	-0,20493	0,354934	0,379257	-0,02205
v_3	-0,21285	-0,26854	-0,21691	-0,15762	-0,42272
Δv_3	-0,14697	-0,00237	0,09935	0,165323	-0,15028
v_4	-0,11636	-0,38064	-0,08762	0,104779	0,278718
Δv_4	-0,06422	-0,31094	-0,01261	0,173388	0,343613
v_5	-0,35224	-0,1759	-0,28091	-0,22348	-0,43124
Δv_5	-0,23482	0,16229	0,030551	0,077988	-0,15836

Числа індексів в круглих дужках при змінних показують, на скільки років назад від прогнозованого року повинна бути виміряна та чи інша величина.

Отже коефіцієнт другого відбору k_2 дорівнює:

$$k_2 = N_2 / N_1 = 0,2, \quad (16)$$

де k_2 – коефіцієнт другого відбору даних; N_1 – число враховуваних ознак після першого відбору даних; N_2 – число враховуваних ознак після другого відбору даних. Дванадцять змінних дають можливість написати шість різних поліномів Колмогорова-Габора для проміжних змінних, в яких будуть враховані дві змінні [10]:

$$\begin{aligned} \xi_{1,2}(t) &= l_{0(1,2)} + l_{1(1,2)} B_1(t) + l_{2(1,2)} B_2(t) + l_{3(1,2)} \times \\ &\times [B_1(t)]^2 + l_{4(1,2)} [B_2(t)]^2 + l_{5(1,2)} B_1(t) B_2(t); \\ \xi_{3,4}(t) &= l_{0(3,4)} + l_{1(3,4)} B_3(t) + l_{2(3,4)} B_4(t) + l_{3(3,4)} \times \\ &\times [B_3(t)]^2 + l_{4(3,4)} [B_4(t)]^2 + l_{5(3,4)} B_3(t) B_4(t); \\ \xi_{5,6}(t) &= l_{0(5,6)} + l_{1(5,6)} B_5(t) + l_{2(5,6)} B_6(t) + l_{3(5,6)} \times \\ &\times [B_5(t)]^2 + l_{4(5,6)} [B_6(t)]^2 + l_{5(5,6)} B_5(t) B_6(t); \\ \xi_{7,8}(t) &= l_{0(7,8)} + l_{1(7,8)} B_7(t) + l_{2(7,8)} B_8(t) + l_{3(7,8)} \times \\ &\times [B_7(t)]^2 + l_{4(7,8)} [B_8(t)]^2 + l_{5(7,8)} B_7(t) B_8(t); \\ \xi_{9,10}(t) &= l_{0(9,10)} + l_{1(9,10)} B_9(t) + l_{2(9,10)} B_{10}(t) + \\ &+ l_{3(9,10)} [B_9(t)]^2 + l_{4(9,10)} [B_{10}(t)]^2 + \\ &+ l_{5(9,10)} B_9(t) B_{10}(t); \\ \xi_{11,12}(t) &= l_{0(11,12)} + l_{1(11,12)} B_{11}(t) + l_{2(11,12)} B_{12}(t) + \\ &+ l_{3(11,12)} [B_{11}(t)]^2 + l_{4(11,12)} [B_{12}(t)]^2 + \\ &+ l_{5(11,12)} B_{11}(t) B_{12}(t). \end{aligned} \quad (17)$$

При обчисленні коефіцієнтів покладаємо, що значення проміжних змінних дорівнюють значенням випадкової складової, тобто

$$\xi_{1,2}(t) = \xi(t), \xi_{3,4}(t) = \xi(t), \dots, \xi_{11,12}(t) = \xi(t).$$

Потім, знаючи коефіцієнти знаходимо $\xi_{1,2}(t), \xi_{3,4}(t), \dots, \xi_{11,12}(t)$ як функції часу і використовуємо їх в подальшому. Коефіцієнти кожного із рівнянь одержимо на основі методу МНК. Для першого рівняння вираз для вектору коефіцієнтів має вигляд:

$$\bar{L}_1 = \left(\Pi_{1,2}^T \Pi_{1,2} \right)^{-1} \Pi_{1,2}^T \bar{\xi}, \quad (18)$$

де $\bar{L}_1 = (l_{0(1,2)}, l_{1(1,2)}, \dots, l_{5(1,2)})^T$ – вектор коефіцієнтів розмірністю (6×1) ; $\bar{\xi} = (\xi_6, \xi_7, \dots, \xi_n)^T$ – вектор випадкової складової розмірністю $(n-5, 1)$; $\Pi_{1,2}$ – матриця розмірністю $(n-5, 6)$:

$$\Pi_{1,2} = \begin{bmatrix} 1 & B_1(4) & B_2(5) & [B_1(4)]^2 & [B_2(5)]^2 & [B_1(4)][B_2(5)] \\ 1 & B_1(5) & B_2(6) & [B_1(5)]^2 & [B_2(6)]^2 & [B_1(5)][B_2(6)] \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & B_1(n-2) & B_2(n-1) & [B_1(n-2)]^2 & [B_2(n-1)]^2 & [B_1(n-2)] \times [B_2(n-1)] \end{bmatrix} \quad (19)$$

В результаті рішення вектор коефіцієнтів буде мати вигляд:

$$\bar{L}_1 = (-1,446 \quad -1,560 \quad 0,901 \quad -0,313 \quad 0,049 \quad 0,275)^T. \quad (20)$$

Аналогічно можна одержати значення коефіцієнтів для інших рівнянь:

$$\begin{aligned} \bar{L}_2 &= (165,452 \quad 10,123 \quad -2,828 \quad -0,172 \quad 0,011 \quad -0,163)^T; \\ \bar{L}_3 &= (85,555 \quad -4,683 \quad -2,925 \quad 0,168 \quad 0,432 \quad -0,051)^T; \\ \bar{L}_4 &= (71,511 \quad -4,469 \quad 4,958 \quad 0,068 \quad -0,249 \quad -0,202)^T; \\ \bar{L}_5 &= (12,094 \quad -0,440 \quad 3,015 \quad -0,002 \quad -0,043 \quad -0,124)^T; \\ \bar{L}_6 &= (-73,208 \quad 7,157 \quad -0,218 \quad -0,074 \quad 0,005 \quad -0,039)^T. \end{aligned} \quad (21)$$

Третій відбір даних (за коефіцієнтами кореляції проміжних змінних). Кореляційна, тобто синфазна, зміна якої-небудь з ознак при короткій вибірці даних може бути випадковим збігом. У таких випадках маємо так звану хибну кореляцію. Для зменшення імовірності врахування ознак, фізично не зв'язаних з передбачуваною величиною, необхідно провести ще один відбір корисних ознак за коефіцієнтами кореляції.

Для цього визначимо кореляцію випадкової величини з проміжними змінними $\xi_{1,2}(t), \xi_{3,4}(t), \xi_{5,6}(t), \xi_{7,8}(t), \xi_{9,10}(t), \xi_{11,12}(t)$, щоб надалі врахувати найбільш корельовані (тобто такі, що синфазно змінюються) із нею. Коефіцієнти кореляції випадкової величини $\xi(t)$ із проміжними змінними $\xi_{1,2}(t), \xi_{3,4}(t), \xi_{5,6}(t), \xi_{7,8}(t), \xi_{9,10}(t), \xi_{11,12}(t)$ наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Коефіцієнти кореляції проміжних змінних

Проміжні змінні	Коефіцієнти кореляції
$\xi_{1,2}(t)$	0,824926
$\xi_{3,4}(t)$	0,836504
$\xi_{5,6}(t)$	0,939849
$\xi_{7,8}(t)$	0,754133
$\xi_{9,10}(t)$	0,748793
$\xi_{11,12}(t)$	0,877596

На основі експериментальних досліджень порогове значення коефіцієнта кореляції вибрано $\Theta_3 = 0,8$, при якому похибки прогнозу найменші. Тоді за величиною коефіцієнта взаємної кореляції проміжних змінних залишаться тільки чотири проміжні змінні ($N_3 = 4$):варог

$$\begin{aligned} \xi_{5,6}(t) &= 85,55517 - 4,68296 \cdot [v_3(t-5)] - 2,92547 \times \\ &\times [v_2(t-5)] - 2,92547 \cdot [v_3(t-5)]^2 + 0,168495 \times \\ &\times [v_2(t-5)]^2 - 0,05061 \cdot [v_3(t-5)] \cdot [v_2(t-5)]; \\ \xi_{11,12}(t) &= -73,208 + 7,157 \cdot [\Delta v_2(t-3)] - 0,21765 \times \\ &\times [v_5(t-1)] - 0,07418 \cdot [\Delta v_2(t-3)]^2 + 0,005251 \times \\ &\times [v_5(t-1)]^2 - 0,03947 \cdot [\Delta v_2(t-3)] \cdot [v_5(t-1)]; \\ \xi_{3,4}(t) &= 165,452 + 10,1231 \cdot [\Delta \xi_0(t-1)] - 2,82801 \times \\ &\times [v_5(t-5)] - 0,17215 \cdot [\Delta \xi_0(t-1)]^2 + 0,010566 \times \\ &\times [v_5(t-5)]^2 - 0,16255 \cdot [\Delta \xi_0(t-1)] \cdot [v_5(t-5)]; \\ \xi_{1,2}(t) &= -1,4461 - 1,56025 \cdot [\xi_0(t-2)] + 0,901209 \times \\ &\times [\xi_0(t-1)] - 0,31267 \cdot [\xi_0(t-2)]^2 + 0,048474 \times \\ &\times [\xi_0(t-1)]^2 + 0,274591 \cdot [\xi_0(t-2)] \cdot [\xi_0(t-1)]. \end{aligned} \quad (22)$$

Коефіцієнт третього відбору k_3 :

$$k_3 = N_3 / N_2 = 0,33. \quad (23)$$

Чотири змінні дозволяють знайти дві проміжні змінні такого рівня:

$$\begin{aligned} \xi_{5,6,11,12}(t) &= l_{0(5,6,11,12)} + l_{1(5,6,11,12)} \cdot [\xi_{5,6}(t)] + \\ &+ l_{2(5,6,11,12)} \cdot [\xi_{11,12}(t)] + l_{3(5,6,11,12)} \cdot [\xi_{5,6}(t)]^2 + \\ &+ l_{4(5,6,11,12)} \cdot [\xi_{11,12}(t)]^2 + l_{5(5,6,11,12)} \times \\ &\times [\xi_{5,6}(t)] \cdot [\xi_{11,12}(t)]; \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \xi_{3,4,1,2}(t) &= l_{0(3,4,1,2)} + l_{1(3,4,1,2)} \cdot [\xi_{3,4}(t)] + \\ &+ l_{2(3,4,1,2)} \cdot [\xi_{1,2}(t)] + l_{3(3,4,1,2)} \cdot [\xi_{3,4}(t)]^2 + \\ &+ l_{4(3,4,1,2)} \cdot [\xi_{1,2}(t)]^2 + l_{5(3,4,1,2)} \cdot [\xi_{3,4}(t)] \cdot [\xi_{1,2}(t)] \end{aligned} \quad (25)$$

В результаті рішення одержимо такі вектори коефіцієнтів:

$$\overline{L_{5,6,11,12}} = (0,916 \quad 0,368 \quad 0,832 \quad 0,015 \quad -0,092 \quad 0,068)^T; \quad (26)$$

$$\overline{L_{3,4,1,2}} = (0,606 \quad 0,376 \quad 1,158 \quad -0,0003 \quad 0,116 \quad -0,207)^T,$$

або в явному вигляді рівняння запишуться так:

$$\begin{aligned} \xi_{5,6,11,12}(t) &= 0,916133 + 0,368383 \cdot [\xi_{5,6}(t)] + \\ &+ 0,832109 \cdot [\xi_{11,12}(t)] + 0,015496 \cdot [\xi_{5,6}(t)]^2 - \\ &- 0,09176 \cdot [\xi_{11,12}(t)]^2 + 0,068496 \times \\ &\times [\xi_{5,6}(t)] \cdot [\xi_{11,12}(t)]; \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \xi_{3,4,1,2}(t) &= 0,0606337 + 0,376348 \cdot [\xi_{3,4}(t)] + \\ &+ 1,1578811 \cdot [\xi_{1,2}(t)] - 0,0003 \cdot [\xi_{3,4}(t)]^2 + \\ &+ 0,116027 \cdot [\xi_{1,2}(t)]^2 - 0,20743 \times \\ &\times [\xi_{3,4}(t)] \cdot [\xi_{1,2}(t)]. \end{aligned}$$

Коефіцієнти кореляції випадкової величини $\xi(t)$ із проміжними змінними $\xi_{5,6,11,12}(t)$, $\xi_{3,4,1,2}(t)$ наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Коефіцієнти кореляції проміжних змінних

Проміжні змінні	Коефіцієнти кореляції
$\xi_{5,6,11,12}(t)$	0,966706
$\xi_{3,4,1,2}(t)$	0,963991

Дві змінні дозволяють знайти кінцеве рівняння прогнозу випадкової складової:

$$\begin{aligned} \xi_{5,6,11,12,3,4,1,2}(t) &= l_{0(5,6,11,12,3,4,1,2)} + \\ &+ l_{1(5,6,11,12,3,4,1,2)} \cdot [\xi_{5,6,11,12}(t)] + \\ &+ l_{2(5,6,11,12,3,4,1,2)} \cdot [\xi_{3,4,1,2}(t)] + \\ &+ l_{3(5,6,11,12,3,4,1,2)} \cdot [\xi_{5,6,11,12}(t)]^2 + \\ &+ l_{4(5,6,11,12,3,4,1,2)} \cdot [\xi_{3,4,1,2}(t)]^2 + \\ &+ l_{5(5,6,11,12,3,4,1,2)} \cdot [\xi_{5,6,11,12}(t)] \cdot [\xi_{3,4,1,2}(t)]. \end{aligned} \quad (28)$$

В результаті рішення одержимо такий вектор коефіцієнтів:

$$\overline{L_{5,6,11,12,3,4,1,2}} = (-1,412 \quad 0,914 \quad 0,071 \quad 0,115 \quad 0,095 \quad -0,209)^T. \quad (29)$$

В явному вигляді рівняння передбачення запишеться таким чином:

$$\begin{aligned} \xi(t_{np}) &= -1,412 + 0,914 \cdot [\xi_{5,6,11,12}(t_{np})] + \\ &+ 0,071 \cdot [\xi_{3,4,1,2}(t_{np})] + 0,115 \times \\ &\times [\xi_{5,6,11,12}(t_{np})]^2 + 0,095 \cdot [\xi_{3,4,1,2}(t_{np})]^2 - \\ &- 0,209 \cdot [\xi_{5,6,11,12}(t_{np})] \cdot [\xi_{3,4,1,2}(t_{np})]. \end{aligned} \quad (30)$$

Прогнозні значення випадкової складової $\xi(t_{np})$ корельовані із значеннями випадкової складової $\xi(t)$ з коефіцієнтом кореляції рівним 0,979635. Значення випадкової складової і прогнозні значення випадкової складової за 2002-2013 роки приведені на рис. 12. З врахуванням систематичної, періодичної та випадкових складових у відповідності з виразом (1) зробимо прогноз можливої кількості НС природного характеру. Фактичні та прогнозні значення кількості НС природного характеру за 2002-2013 роки представлені на рис. 13 (ромб – реальні, квадрат – прогнозні значення).

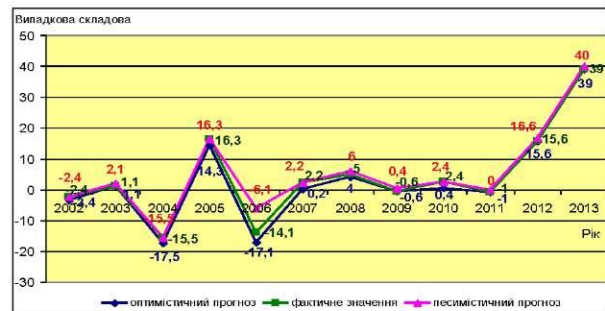


Рис. 12. Значення випадкової складової і прогнозні її значення



Рис. 13. Фактичні і прогнозні значення кількості надзвичайних ситуацій природного характеру

Таким чином, в 2013 році зафіксовано 56 НС природного характеру, а очікуване прогнозне значення складо: оптимістичний прогноз 56 НС, песимістичний прогноз 57 НС.

3. Перевірка ефективності застосування методики прогнозування кількості надзвичайних ситуацій природного характеру. На основі статистичних даних про НС в Україні [7, 8] проведені дослідження ефективності застосування методики прогнозування кількості НС природного характеру. В якості критерію ефективності виберемо модуль відносної помилки прогнозу, який розраховується на основі попередніх статистичних даних таким чином:

$$|\Delta| = \sum_{i=1}^n |\Delta_i| / n, \quad (31)$$

де $|\Delta|$ – модуль середньої відносної похибки прогнозу; $|\Delta_i|$ – модуль відносної похибки i -го кроку прогнозу; n – кількість статистичних даних.

Порівняльні дані прогнозних та фактичних значень кількості НС наведені в табл. 4. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що

застосування даної методики дозволяє здійснювати прогноз кількості НС в державі. При цьому середня відносна похибка прогнозу не перевищує 4,4 %. Слід зазначити, що при застосуванні статистико-ймовірного методу прогнозування кількості НС [20] середня відносна похибка прогнозу складала 8%.

Таблиця 4 – Порівняння прогнозних та фактичних значень кількості НС за період 2013-2020 роки

Параметр		Рік							
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Кількість НС природного характеру	Фактична кількість	56	59	77	89	107	77	81	64
	Оптимістичний прогноз	55	53	72	84	102	76	77	62
	Песимістичний прогноз	57	60	79	93	108	80	84	66

Таким чином, за рахунок прогнозування випадкової складової процесу зміни НС природного характеру точність прогнозу кількості НС природного характеру збільшилась майже в 1,7 разів.

4. Обговорення результатів експериментальних досліджень ефективності застосування методики прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру на основі методу попарного врахування аргументів. З врахуванням дії всіх дестабілізуючих факторів процес зміни кількості НС природного характеру доцільно представити у вигляді адитивної суміші систематичної складової, яка характеризує незворотні процеси дрейфу параметрів, періодичної і випадкової складових. Оцінка всіх трьох складових процесу зміни НС природного характеру дозволить не тільки здійснити прогнозування по кожній із них, але й глибше проаналізувати причини виникнення подібних НС.

Розроблена методика дозволяє підвищити точність прогнозування НС природного характеру за рахунок прогнозування випадкової складової процесу зміни природних НС на основі методу МПВА. Результати експериментальних досліджень показали, що застосування даної методики дозволяє здійснювати прогноз кількості НС з середньою відносною похибкою прогнозу 4,4 %. Це майже в 1,7 рази перевищує точність прогнозу при застосуванні статистико-ймовірного методу прогнозування кількості НС природного характеру. Деякі складності і обмеження дослідження ефективності застосування методики можуть бути викликані недостатнім обсягом або некоректністю достовірних статистичних даних про НС природного характеру в державі.

Подальший розвиток запропонованої методики повинен бути спрямованим на дослідження впливу різноманітних дестабілізуючих факторів як окремо, так і в їх сукупності, на процеси виникнення та розвитку НС природного характеру в різних регіонах держави.

Висновки

1. Обґрунтовано вибір моделі зміни узагальненого параметру процесу зміни НС природного характеру. В якості узагальненого параметру розглядається кількість НС за деякий проміжок часу (наприклад, за рік). Із врахуванням дії всіх дестабілізуючих факторів цей процес доцільно представити у вигляді адитивної суміші систематичної складової, яка характеризує незворотні процеси дрейфу параметрів, періодичної і випадкової складових. Оцінка всіх трьох складових процесу зміни НС природного характеру дозволить не тільки здійснити прогнозування по кожній із них, але й глибше проаналізувати причини виникнення НС.

2. Розроблена методика підвищення точності прогнозування НС природного характеру на основі МПВА. Методика дозволяє підвищити точність прогнозування НС природного характеру за рахунок оцінки систематичної та періодичної складових, а також прогнозування випадкової складової процесу зміни природних НС на основі методу МПВА. Це здійснюється за рахунок рекурентного вирішення кількох систем нормальних рівнянь, складених для кожної пари аргументів і для нових допоміжних змінних.

3. Перевірка ефективності застосування методики показали, що вона дозволяє підвищити точність прогнозування НС природного характеру за рахунок прогнозування випадкової складової процесу зміни природних НС на основі методу МПВА. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що середня відносна похибка прогнозу становить близько 4,4 %. Це майже в 1,7 рази перевищує точність прогнозу при застосуванні статистико-ймовірного методу прогнозування кількості НС природного характеру.

Ефективність застосування методики буде залежати від достовірності та обсягу статистичних даних про НС природного характеру за деякий період моніторингу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tiutiunyk, V.V., Ivanets, H.V., Tolkunov, I.A., Stetsyuk, E.I. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. Scientific Bulletin of National Mining University, 1(1(163)), 99-105. 10.29202/mvngu/2018-1/7.
2. Wang-Kun Chen. (2012). Managing emergency response of air pollution by the expert system // Air pollution – a comprehensive perspective. P. 319-336. doi: 10.5772/50080.
3. Guskova, N.D., Neretina, E.A. (2013). Threats of natural character, factors affecting sustainable development of territories and their prevention. Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA, 63(3), 227-237. <https://doi.org/10.2298/ijgi1303227g>.
4. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2017). Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(10 (90)), 11-16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114504>.

5. Rybalova, O., Artemiev, S., Sarapina, M., Tsybmal, B., Bakhareva, A., Shestopalov, O., Filenko, O. (2018). Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10 (92)), 4–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127829>.
6. Bakhareva, A., Shestopalov, O., Filenko, O., Tykhomyrova, T., Rybalova, O., Artemiev, S., Bryhada, O. (2018). Studying the influence of design and operation mode parameters on efficiency of the systems of biochemical purification of emissions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(10(93)), 59–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133316>.
7. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2019 році. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2020/1/26/Zvit%202019\(KMU\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2020/1/26/Zvit%202019(KMU).pdf).
8. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2020 році. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2021/1/26/Zvit%202020\(KMU\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2021/1/26/Zvit%202020(KMU).pdf).
9. Іванець Г.В. Аналіз стану техногенної, природної та соціальної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України на основі даних моніторингу. /Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. –Х. Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – Вип. 3 (48). – 218с., С.142-145
10. Іванець Г.В., Толкунов І.О., Стецюк С.І. Модель процесу зміни узагальнених параметрів надзвичайних ситуацій природного характеру. /Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. – Харків: НУЦЗУ, 2016. – Вип. 23.-211с., с. 46-52
11. Deng, S. C., Wu, Q., Shi, B., Chen, X. Q., Chu, X. M. (2014). Prediction of Resource for Responding Waterway Transportation Emergency Based on Case-Based Reasoning. *China Safety Science Journal*, 24(3), 79–84.
12. Vasiliev, M. I., Movchan, I. O., Koval, O. M. (2014). Diminishing of ecological risk via optimization of fire-extinguishing system projects in timber-yards. *Scientific Bulletin of National mining university*, 5, 106–113. Available at: <http://www.nvngu.in.ua/index.php/en/home/985-engcat/archive/2014/contents-no-5-2014/environmental-safety-labour-protection/2797-diminishing-of-ecological-risk-via-optimization-of-fire-extinguishing-system-projects-in-timber-yards>.
13. Sun, B. Z., Ma, W. M., Zhao, H. Y. (2013). A Fuzzy Rough Set Approach to Emergency Material Demand Prediction over Two Universes. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 7062–7070. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.02.008>.
14. Mygalenko, K., Nuyanzin, V., Zemlianskyi, A., Dominik, A., Pozdieiev, S. (2018). Development of the technique for restricting the propagation of fire in natural peat ecosystems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10(91)), 31–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121727>.
15. Kryanev, A., Ivanov, V., Romanova, A., Sevastianov, L., Udumyan, D. (2018). Extrapolation of Functions of Many Variables by Means of Metric Analysis. *EPJ Web of Conferences*, 173, 03014. Available at: <https://doi.org/10.1051/epjconf/201817303014>.
16. Evangelidou, N., Balkanski, Y., Cozic, A. et al. (2015). Fire evolution in the radioactive forests of Ukraine and Belarus: future risks for the population and the environment. *Ecological Monographs*, 85(1), 49–72. Available at: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/14-1227.1>.
17. Al-Jumeily D., Ghazali R., Hussain A. Predicting physical time series using dynamic ridge polynomial neural networks. // *PLoS ONE*. 2014, №9: e105766. doi: 10.1371/journal.pone.0105766.
18. Emergency flood bulletins for Cyclones Idoi and Kenneth: A critical evaluation of the use of global flood forecasts for international humanitarian preparedness and response / Rebecca E., Hannah C., Andrea F et al.// *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2020. V.50.101811. Doi: 10.1016/j.ijdr.2020.101811.
19. Іванець Г.В., Стецюк С.І., Толкунов І.О. Методика оцінки періоду періодичної складової випадкового процесу зміни узагальненого параметру надзвичайних ситуацій природного характеру / Г.В. Іванець, С.І. Стецюк, І.О. Толкунов // Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. – Харків: НУЦЗУ, 2015. – Вип. 22. – С.46-53.
20. Ivanets, H., Horielyshev, S., Ivanets, M., Baulin, D., Tolkunov, I., Gleizer, N., Nakonechnyi, A. (2018). Development of combined method for predicting the process of the occurrence of emergencies of natural character. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10(95)), 48-55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143045>.

Received (Надійшло) 11.01.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.03.2022

Methods of improving the accuracy of forecasting of emergency emergency situations on the basis of the method of couple accounting of arguments

H. Ivanets, M. Ivanets, I. Tolkunov, I. Popov

Abstract. The effectiveness of planning and implementation of measures to prevent emergencies of a natural nature is determined by the quality of forecasting the threats of their occurrence. Emergency prevention is based on the analysis and accuracy of forecasting the possibility of such emergencies. The article substantiates the choice of the model of change of the generalized parameter of the process of change of emergencies of natural character. The number of emergencies over a period of time is considered as a generalized parameter. Taking into account the action of all destabilizing factors, this process should be presented in the form of an additive mixture of systematic components, which characterizes the irreversible processes of drift parameters, periodic and random components. Assessment of all three components of the process of changing natural emergencies will allow not only to make predictions on each of them, but also to analyze more deeply the causes of emergencies. A method for improving the accuracy of forecasting emergencies of a natural nature based on the method of pairwise consideration of arguments. The method allows to increase the accuracy of forecasting emergencies of natural nature by assessing the systematic and periodic components, as well as forecasting the random component of the process of changing natural emergencies. Experimental studies have shown the effectiveness of the method of pairwise consideration of arguments to predict the random component of the process of emergencies of a natural nature on the basis of the developed methodology. At the same time, the accuracy of forecasting the number of emergencies compared to the statistically probable forecast method has increased almost 1.7 times. This allows reasonable approaches to the planning and implementation of organizational and technical measures aimed at preventing and eliminating the consequences of emergencies both in the state and its regions.

Keywords: emergency situation, generalized parameter, systematic component, periodic component, random component, model, method of pairwise consideration of arguments.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Андрєєв С. М.	4	Ковальова А. В.	121	Полікарпова Г. В.	102
Бажак О. В.	131	Ковальчук Д. М.	65	Попов І. І.	111
Бандурка О. І.	13	Коломійцев О. В.	57	Рибальченко А. О.	57
Барабаш О. В.	38	Колтун Ю. М.	75	Саул-Гоє Д. К.	4
Бараненко Р.	62	Колумбет В. П.	38	Свинчук О. В.	13
Барковська О. Ю.	43	Константинова Л. В.	84	Сисоєв І. К.	81
Бєльорін-Еррєра О. М.	30	Кошман С. О.	65	Смірнов О. А.	84
Волк М. О.	48	Краснобаєв В. А.	65	Смірнов С. А.	84
Гавриленко В. В.	81	Кусков М. А.	30	Смірнова Т. В.	84
Гавриленко С. Ю.	52	Кучук Г. А.	90	Сухотєплий В. М.	75
Гапон Д. А.	19	Лактіонов О. І.	34	Толкунов І. О.	111
Голубничий Д. Ю.	57, 75	Лєвченко Л. О.	127	Трєтяк В. Ф.	57
Горєлик С. І.	4	Лєщенко В. М.	19	Трикоз В. В.	98
Гулак О. С.	94	Лисиця Д. О.	90	Урум Н. С.	131
Дєніссєнко М. А.	19	Лунін Д. О.	19	Фєдунов В. М.	131
Дяченко О.	62	Лунічкін О. Г.	48	Франчук Т.	62
Заповєський М. Й.	23	Малохвій Е. Е.	71	Фролов В. Ф.	127
Зиков І. С.	23	Мартиненко А. М.	98	Холєв В. О.	43
Зозуля В. Д.	52	Мартовиський В. О.	75	Чуйко О. А.	90
Зуєв А. О.	19	Мєзєнцев М. В.	23	Шапєвалова С. І.	94
Іванєнко В. М.	131	Михайленко О. В.	34	Шєфєр О. В.	34
Іванєць Г. В.	111	Молчанов Г. І.	71	Якимєнко Н. М.	84
Іванєць М. Г.	111	Нєчаусов А. С.	4	Янко А. С.	98
Калінін Є. І.	30	Носков В. І.	23	Янковська Д. О.	102
Капітон А.	62	Панова О. В.	127	Янковський О. А.	102
Ключка Я. О.	57	Паржин Ю. В.	71	Ярошєвич Р. О.	106
Ковалєнко А. А.	106	Поліканов Д. А.	43		

Науковє видання

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 1 (67)

Відповідальна за випуск *К. С. Нєстєрєнко*

Тєхнічний редактор *Т. В. Уварова*

Корєктор *О. В. Морозова*

Комп'ютерна верстка *П. Г. Кучук, І. Ю. Шєтровська*

Оформлєння обкладинки *І. В. Ільїна*

Свідєцтво про державну рєєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

Підписано до друку 2.04.2022. Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 13,0. Тираж 120 прим. Зам. 204-22
Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравнєвий проспєкт, 24, тел. (050) 302-20-71
Національний університет «Полтавська політєхніка імені Юрія Кондратюка»

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Шєтров В.В.
Єдиний державний рєєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34
e-mail: bookfabrik@mail.ua