

УДК 614.8

І. А. Чуб¹, д.т.н., професор, нач. каф. (ORCID 0000-0002-6671-2970)

М. В. Новожилова², д.ф.-м.н., професор, зав. каф. (ORCID 0000-0002-9977-7375)

Р. В. Гудак³, нач. управління (ORCID 0000-0001-9960-0054)

¹*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

²*Харківський університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна*

³*Управління ДСНС України в Закарпатській області, Ужгород, Україна*

СТВОРЕННЯ ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ З ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ГІДРОЛОГІЧНОЇ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

В роботі розглянуті технічні, методологічні, програмні та організаційні характеристики процесу отримання, передачі та обробки інформації щодо перебігу гідрологічних надзвичайних ситуацій (НС) природного характеру в умовах гірської місцевості Карпатського масиву. Проведено аналіз складових інформаційного середовища, що наразі створюється в ДСНС України, та перспективи розвитку його систем з точки зору входження України в європейський простір. Виділено такі складові, як формування інформації щодо параметрів гідрологічної НС природного характеру в умовах гірської місцевості, характеристик наявних ресурсів рятувальних підрозділів, параметрів зони ураження. Визначено роль логістичного забезпечення робіт з ліквідації наслідків гідрологічної надзвичайної ситуації природного характеру. На основі такого аналізу запропоновано та обґрунтовано функціональну модель інформаційного середовища функціонування логістичної інформаційної системи з підтримки прийняття управлінського рішення по ліквідації гідрологічної надзвичайної ситуації природного характеру в умовах гірської місцевості. Наведене методичне забезпечення розв'язання багатокритеріальної оптимізаційної задачі ресурсного забезпечення ліквідації НС визначеного типу. Логістична інформаційна система містить інтерфейс, що забезпечує введення та контроль інформації особою, що приймає рішення, базу даних реляційного типу, а також відповідне математичне забезпечення. З метою перевірки ефективності застосування розробленого програмного забезпечення розв'язання оптимізаційних логістичних задач проведено ряд чисельних експериментів, зокрема із застосуванням інформації про гідрологічні надзвичайні ситуації, що сталися на Закарпатті. Аналіз отриманих результатів дозволив стверджувати щодо ефективності застосування логістичної інформаційної системи.

Ключові слова: Гідрологічна надзвичайна ситуація природного характеру в умовах гірської місцевості, оптимізація ресурсів, логістична інформаційна система

1. Вступ

Гідрологічні надзвичайні ситуації природного характеру (ПНС) завдають величезних матеріальних втрат економіці України і негативно впливають на психологічний стан населення. Одним з найбільш уразливих регіонів є Карпати, а саме територія Закарпатської області, Волині, Львівської області, Івано-Франківської області. Аналіз причин гідрологічних ПНС, що сталися за останні десятиріччя в даному регіоні, показує, що найбільш частою причиною гідрологічної ПНС є таке природне явище у Карпатських горах як повені.

Вивчення передумов повеней та масштаби їх прояву дають підстави стверджувати, що їх виникнення зумовлене комплексом природних та антропогенних причин.

До головних природних причин належать: географічне положення Карпат; періодичні повторення несприятливих метеорологічних ситуацій; гірський рельєф та значна крутизна схилів; глобальне потепління клімату, що призводить до збільшення водності рік. Згідно з результатами досліджень Міждержавної групи експертів із зміни клімату (МГЕЗК) [1], протягом століття внаслідок підвищення концентрації в атмосфері парникових газів – CO₂, CH₄, N₂O середня річна температура в Україні піднялась на 0.74⁰C, а середня річна кількість опадів збільшилася на 100 мм. Наслідком потепління є небезпека швидшого танення снігу у гірській

зоні Карпат, що також може бути причиною порушення гідрологічного режиму гірських рік та виникнення повеней.

Однак, крім природних факторів на виникнення повеней у значній мірі впливає масштабний антропогенний вплив на природне середовище, в першу чергу – на ліси. Гідрологічний режим гірських рік і потоків часто порушується внаслідок вирубки прибережних захисних лісів та захаращеності їхніх русел, неконтрольованого добування гравію, інтенсивного випасу худоби [2].

Отже, проблема ліквідації гідрологічної ПНС в гірській зоні Карпат набуває загальнодержавного значення та торкається сусідніх країн, тобто стає транскордонною. Очевидно, що ефективність операцій з ліквідації гідрологічної ПНС в гірській зоні залежить від швидкості отримання та опрацювання інформації щодо масштабу та параметрів ПНС, наявних організаційно-технічних засобів ліквідації ПНС, а також ступеню застосування можливостей сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. Побудова професійно-орієнтованого інформаційного середовища в галузі цивільного захисту уможливорює гармонізацію із сучасним європейським простором, що є особливо важливим в умовах необхідності забезпечення транскордонного співробітництва із суміжними країнами Європейського Союзу.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Як зазначено в роботі [3], побудова ефективної системи інформаційно-аналітичного забезпечення є важливим етапом у процесі модернізації державної служби цивільного захисту України. Складовими такої системи мають бути інформаційно-аналітичні системи центральних та місцевих органів виконавчої влади, інформаційні служби ДСНС України.

В контексті орієнтації України на європейські стандарти в сфері цивільного захисту необхідно розглянути ґрунтовну працю [4], в якій представлені результати досліджень міжнародного колективу науковців щодо інструментальних засобів моделювання та розв'язання задач оптимізації ресурсів робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та визначені обмеження пропонованих моделей та методів.

Цей напрям діяльності має включати узгодження методичного, математичного, інформаційного, програмного забезпечення, протоколів передачі та регламентів зберігання та опрацювання критичної інформації.

Особливо важливою є ця передумова для Закарпаття, як регіону з унікальним географічним положенням, де можливість спільно вирішувати внутрішні питання захисту населення від наслідків ПНС є необхідною передумовою попередження та ліквідації масштабних НС на своїй території.

Питання розробки математичних моделей і методів оптимізації робіт з попередження та ліквідації наслідків ПНС, як свідчить огляд [5], знаходяться в центрі уваги наукової спільноти.

В роботі [6] пропонується узагальнена модель мінімальних витрат щодо оптимізації розподілів двох типів транспортних потоків: евакуації та рятувального, що є основними операціями під час природних та техногенних катастроф.

Роботу [7] присвячено опису імітаційної системи планування для координації операцій гелікоптерів з ліквідації наслідків катастроф, що допомагає особі, що приймає рішення, генерувати плани з оціночними даними.

Аналіз інших наукових робіт даного напрямку, зокрема [8], показує, що при побудові математичних моделей процесів забезпечення етапу ліквідації наслідків ПНС значною мірою враховується невизначеність параметрів ПНС та наявних ре-

сурсів сил порятунку, у тому числі різних видів транспортних засобів.

Таким чином, не вирішеною частиною проблеми стосовно підвищення ефективності протидії ПНС, а саме гідрологічним ПНС в умовах гірської місцевості, є відсутність спеціалізованого апаратно-програмного забезпечення та відповідних систем підтримки дій керівника з ліквідації наслідків подібних НС з урахуванням можливостей сучасних інформаційно-комунікаційних технологій.

3. Мета та завдання дослідження

Метою даного дослідження є побудова та реалізація концептуальної моделі логістичної інформаційної системи підтримки прийняття управлінського рішення з планування та ресурсного забезпечення робіт з ліквідації наслідків гідрологічної ПНС в умовах гірської місцевості, далі логістичної інформаційної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні наукові завдання:

1. Визначити параметри зовнішнього інформаційного середовища функціонування логістичної інформаційної системи.
2. Створити та програмно реалізувати функціональну модель логістичної інформаційної системи.
3. Провести чисельні експерименти з метою оцінки ефективності подальшого застосування створеного спеціалізованого апаратно-програмного забезпечення на прикладі ліквідації наслідків гідрологічної надзвичайної ситуації природного характеру, що відбулася на території Закарпатської області у 2017 році.

4. Визначення параметрів зовнішнього інформаційного середовища функціонування логістичної інформаційної системи

Аналіз типів, атрибутів та апаратно-програмних засобів опрацювання інформації, що є входною для системи, що розробляється, дозволив виділити такі основні елементи:

- апаратно-програмне забезпечення прогнозування зон затоплення та характеристик повеней, погодних умов та параметрів гідрологічної ПНС;
- нормативно-правові акти створення та провадження систем обробки інформації в ДСНС України;
- інформаційні системи (ІС) матеріально-технічного забезпечення ДСНС України.

Гірський басейн Карпат є паводконебезпечною територією з високим ступенем ризику для настання гідрологічних надзвичайних ситуацій природного характеру. Джерелом небезпеки є річка Тиса з притоками.

Тиса є найбільшою притокою Дунаю за площею басейну (157186 км²) та довжиною (966 км) і другою за водністю. Основна частина стоку р. Тиса формується на території чотирьох держав: Румунії – 51%, України – 25,6% , Угорщини – 10% та Словаччини – 13,4%.

На території України басейн р. Тиса повністю розташований в межах Закарпатської області. Це єдина область в Україні, де її адміністративні кордони співпадають з межами річкового басейну. Всі річки на території Закарпаття впадають або безпосередньо до р. Тиса, або до її приток. Площа суббасейну Тиса в межах Закарпатської області України складає близько 12,8 тис. км².

В суббасейні р. Тиса протікає 9426 річок, їх сумарна довжина складає 16147 км, густина – 1,7 км/км². 155 річок мають довжину понад 10 км та 4 річки з дов-

жиною понад 100 км: Тиса, Латориця, Уж, Боржава. Загальні водні ресурси басейну Тиси в межах України складають $13,3 \text{ км}^3$ в середній за водністю рік, при цьому $7,92 \text{ км}^3$ є місцевим стоком.

Питання підвищення ефективності реагування на гідрологічні ПНС передбачає розгортання на постійній основі низки сумісних із сусідніми державами заходів стосовно впровадження сучасних методів розрахунків формування і проходження паводків. В рамках двосторонніх Угод, укладених з країнами – сусідами: Словаччиною (1994 р.), Угорщиною (1997 р.), Румунією (1997 р.), Польщею (1998 р.) важливим напрямом співробітництва на транскордонних водах гірського масиву Карпат є створення та розвиток автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи (АІВС) «Тиса», яка містить спеціальне математичне, інформаційне і програмне забезпечення.

АІВС «Тиса» дозволяє виконати прогнозування зон затоплення і можливих збитків від затоплення дощовими, тало-дощовими і селевими паводками, прогнозування дощових, тало-дощових і селевих паводків, контроль параметрів та прогнозування якості природних і скидних вод, розробку оперативних планів проти-паводкових заходів [9]. Ця інформація має в автоматичному режимі передаватися відповідним службам реагування (рис. 1).

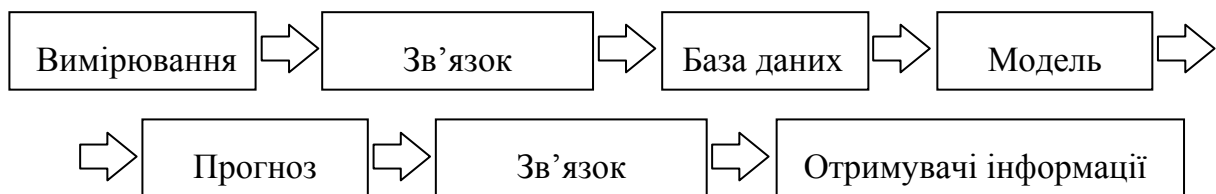


Рис. 1. Рух інформації в системі «Тиса» [9]

За допомогою АІВС «Тиса» ведеться контроль в реальному часі за гідрометеорологічною ситуацією на водних об'єктах в басейні р. Тиса за допомогою 50 автоматизованих вимірювальних станцій (АВС), 30 з них – гідрометеорологічні, 13 – метеорологічні, 1 станція контролю якості води в м. Тячів, 4 АВС моніторингу роботи насосних станцій, 2 – моніторингу роботи шлюзів.

Спеціалізоване апаратно-програмне забезпечення АІВС «Тиса» включає систему цифрового УКХ-радіозв'язку (для передачі даних вимірювань) від АВС до Центру збору і обробки інформації Закарпатського облводгоспу, яка охоплює більшу частину території Закарпатської області, а також лінію мікрохвильового радіорелейного зв'язку між в м. Ужгород та Ніредьхазу (Угорщина).

В рамках проектів з міжнародного співробітництва USAID/USGS встановлено 7 автоматизованих гідрометеорологічних вимірювальних станцій в басейні р. Латориця та у верхів'ях р. Тиса. Ці станції передають дані на супутник системи EUMETSAT – Європейської організації з експлуатації метеорологічних супутників [10].

В даний час EUMETSAT має сім оперативних метеорологічних супутників: геостационарні супутники Meteosat-7, -8, -9 і -10, полярно-орбітальні супутники Metop-A, Metop-B і Jason-2. EUMETSAT виконує вимоги 30 європейських держав-членів, що стосуються забезпечення супутникових спостережень з геостационарних і низьких навколосезонних орбіт, з метою для оперативного прогнозування погоди і моніторингу клімату. EUMETSAT використовує різноманітні формати для розповсюдження інформації: HRIT (High Rate Information Transmission), стандарт NetCDF (Network Common Data Form), BUFR (Binary Universal Form for the Representation of Meteorological Data).

EUMETSAT забезпечує кліматичні дослідження довгими рядами безперервних даних, доступними через інтернет-портал. Ці дані можна отримати за допомогою технологій ftp-серверу та JavaWeb Start, причому автоматизація процесу завантаження даних можлива на основі bash-скриптів.

Україна використовує інформацію EUMETSAT на партнерських відносинах. Дані з полярно-орбітальних супутників оновлюються один раз в дві-три години. Створена система впроваджена у відповідних підрозділах ДСНС України, у тому числі на Закарпатті.

В складі АІВС «Тиса» функціонує спеціальне програмне забезпечення:

– програми для обробки гідрологічної інформації з АВС на території Закарпаття і Угорщини. Дані АВС постійно накопичуються в базі даних;

– програма «Radar» для роботи з даними метеорологічного радара в м. Нопкор (Угорська республіка);

– програма «ICIsat» для роботи із знімками з метеорологічного супутника Meteosat;

– табличні процесори для обробки даних з АВС (українських та угорських) на робочих місцях;

– програми для реалізації моделей (MIKE-11, DIWA, Тиса-n) прогнозування розвитку паводкової ситуації на річках Закарпатської області.

АІВС «Тиса» є інтегрованою у професійний інформаційний простір, що формується наразі у ДСНС України на основі застосування сучасних інформаційно-комунікативних технологій [10].

До складу нормативно-правових актів створення та провадження систем обробки інформації в ДСНС України входять такі документи:

– пріоритетні завдання та заходи Річної національної програми під егідою Комісії Україна - НАТО на 2019 та 2020 роки, що містять настанову до формування єдиної державної мережі обміну інформацією та напрями удосконалення системи захисту інформаційних ресурсів та інформації, кіберзахисту інформаційно-телекомунікаційних систем;

– регламент функціонування системи моніторингу і прогнозування ризику виникнення НС (проект), згідно якого відомості щодо гідрологічних ПНС мають містити: координати зони НС, напрямок та швидкість вітру, атмосферний тиск, висоту підйому (зниження) рівня води, тривалість водопілля (маловоддя), площу затоплення території, кількість затоплених населених пунктів, товщину льоду, координати зони НС, швидкість селевого потоку, об'єм виносу уламкових матеріалів, глибину снігового покриву на схилах, швидкість сходу лавин, наявність постраждалих тощо;

– накази ДСНС України щодо упорядкування процедур обробки та зберігання інформації, зокрема Наказ ДСНС України від 19.07.2019 р. № 425 «Про затвердження Порядку використання інформаційних та інформаційно-телекомунікаційних систем і Порядку використання та обліку комп'ютерних програм».

Окремо виділимо нормативні акти щодо створення та підтримки матеріально-технічного забезпечення ДСНС України, що регламентуються наказом № 205 від 20.12.2019 «Про проведення дослідної експлуатації уніфікованої автоматизованої електронно-облікової системи транспортних засобів оперативно-рятувальних сил цивільного захисту» [14]. Цей напрям діяльності узгоджений із завданнями вищезгаданої Національної програми та відповідає цілям Меморандуму про взаєморозуміння щодо створення, управління та функціонування Багатонаціонального координаційного центру логістики (м. Прага, Чеська Республіка).

5. Створення та програмна реалізація функціональної моделі логістичної інформаційної системи

Визначення складових зовнішнього інформаційного середовища реалізації інформаційної логістичної системи дозволило сформулювати вимоги до типів та атрибутів вхідної інформації

$$I = I_1 \cup I_2 \cup I_3, \quad (1)$$

де I_1 – параметри гідрологічної ПНС, що є безпосередньою або опосередкованою вихідною інформацією системи моніторингу та включають перелік (множину) $\wp = \{\wp_1, \dots, \wp_N\}$ населених пунктів в зоні затоплення, кожен з яких характеризується запитом $D_k^S, k = 1, \dots, K_S$, щодо обсягу необхідних вантажів, таких як предмети першої необхідності, елементи обладнання, ліки тощо, та потребою $D_k^G, k = 1, \dots, K_G$ у евакуації постраждалих, $K_S, K_G \leq N$, а також оцінку T тривалості розвитку ПНС; I_2 – параметри ураженої території, зокрема рівень ПНС, стан під'їзних шляхів до постраждалих локацій, погодні умови тощо; I_3 – параметри ресурсного забезпечення процесу ліквідації наслідків гідрологічної ПНС, тобто координати локацій C сховищ (місць зберігання гуманітарних вантажів), місць евакуації $E = \{E_1, E_2, \dots, E_U\}$, характеристик транспортних засобів (ТЗ) – гелікоптерів, рятувальної техніки та особового складу тощо.

Одними з основних задач при виконанні робіт з ліквідації наслідків гідрологічної ПНС в умовах гірської місцевості мають бути задачі транспортування вантажів та предметів першої необхідності у зону ураження, а також евакуації потерпілих. Вони належать до класу багатокритеріальних оптимізаційних задач прийняття управлінських рішень щодо логістики рятувальних робіт з додатковими обмеженнями (наприклад, пріоритети часу обслуговування), що обумовлює необхідність моделювання із урахуванням можливості зміни часу виконання рятувальних робіт з метою:

- зменшення часу доставки вантажів та предметів першої необхідності;
- зменшення часу евакуації;
- зменшення витрат на утримання ТЗ шляхом мінімізації їх кількості;
- зменшення протяжності холостих перельотів ТЗ.

Таким чином, час доставки вантажів та предметів першої необхідності, час евакуації, витрати на утримання ТЗ та протяжність холостих перельотів ТЗ формують множину часткових критеріїв ефективності виконання рятувальних робіт.

Характер та особливості перебігу гідрологічних ПНС в умовах гірської місцевості визначив вибір гелікоптерів як важливої складової множини ТЗ при ліквідації наслідків гідрологічної ПНС даного типу.

Парк гелікоптерів ДСНС України, що використовується у співдружності із Національною гвардією України в рамках створення Єдиної системи авіаційної безпеки, включає до 70 гелікоптерів Мі-8 та модифікацій базової моделі, а також гелікоптери Airbus H-225 Super Puma та Eurocopter EC145 виробництва Франції та Німеччини.

Основними характеристиками гелікоптерів є такі:

$$V_j^v = (VW_j^v, VV_j^v, VP_j^v, VD_j^v, VC_j^v, VF_j^v), j = 1, \dots, N_v, v = 1, \dots, 3, \quad (2)$$

де VW_j^v – вантажопідйомність, VV_j^v – максимальний об'єм вантажу, VP_j^v – максимальна пасажиромісткість, VD_j^v – максимальний добовий наліт, VC_j^v – вар-

тість використання V_j^V за період $[1, T]$, VF_j^V – витрати авіаційного палива.

Часткові критерії ефективності виконання рятувальних робіт, наведені вище, природно згрупувати у дві групи: критерії оптимального навантаження ТЗ та критерії маршрутизації, що уможливує формулювання трьох основних задач логістичної інформаційної системи (рис. 2):

- оцінка ефективності заходів щодо ліквідації ПНС;
- задача оптимального завантаження;
- задача маршрутизації.

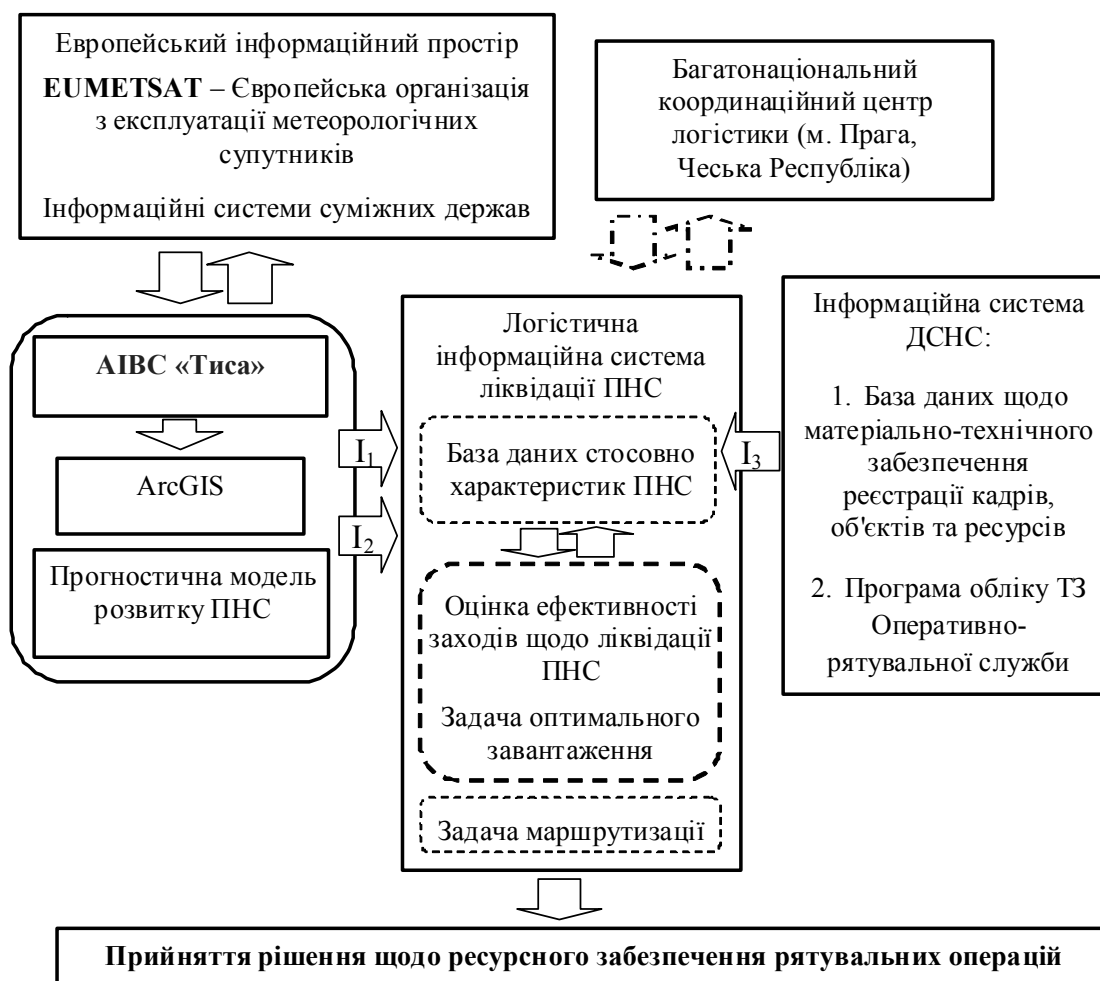


Рис. 2. Функціональна модель логістичної інформаційної системи

Наведений спектр задач логістичної інформаційної системи задає вимоги до апаратного та програмного забезпечення процесів проектування та функціонування системи.

Загальна схема методичного забезпечення визначених задач складається із шести етапів.

Етап 1. Визначення параметрів множини \wp , горизонту планування T (за даними АІВС «Тиса»).

Етап 2. Визначення початкових оцінок значень D_k^G , D_k^S та пріоритетів їх виконання, тобто завдання інтервалів $[t_{\min k}, t_{\max k}]$.

Етап 3. Визначення оцінки проведення аналізу чутливості ефективності заходів у щодо ліквідації ПНС на основі застосування нечіткої логіки – задача оцінки ефективності заходів щодо ліквідації ПНС.

Етап 4. Розв'язання ітераційної задачі пошуку раціонального розміщення замовлень D_k^G на евакуацію на горизонті планування $[1, T]$. За прийнятих припущень розміщення замовлення визначає маршрут його виконання.

Етап 5. Визначення раціонального плану виконання замовлень D_k^S на доставку вантажів у локації φ_h .

Оптимізаційний метод розв'язання задач 4-го та 5-го етапів є модифікацією методу раціонального розміщення прямокутних об'єктів в обмеженій прямокутній області з урахуванням відмінності 5-го етапу, що складається в можливості застосування одного ТЗ для одночасного виконання кількох замовлень D_k^S (мультиплікативне замовлення).

Етап 6. Виконується у разі наявності мультиплікативних замовлень і містить пошук маршруту виконання замовлень D_k^S для кожного часового такту $t = 1, \dots, T$ з урахуванням погодних умов.

Вихідною інформацією інформаційної логістичної системи є логістичне забезпечення рятувальних робіт, яке містить дані про кількість гелікоптерів, що застосовуються, план оптимального навантаження гелікоптерів, розклад заходів з евакуації та перевезень вантажів.

6. Проведення чисельних експериментів та оцінка ефективності застосування логістичної інформаційної системи

Прототип інформаційної системи створено мовою візуального програмування високого рівня Object Pascal у середовищі Delphi. Інформаційна система функціонує як десктопний програмний додаток під управлінням ОС Windows та містить засоби програмної реалізації багатовіконного інтерфейсу користувача та методичного забезпечення розв'язання логістичних задач. Необхідна інформація для поповнення бази даних заповнюється за відкритими джерелами, наявною нормативною базою та наочним спостереженням. Програмний додаток має клієнт-серверну архітектуру і застосовує MySQL в якості системи управління базами даних для упорядкування бази даних.

Структура логістичної інформаційної системи містить 6 основних компонент (рис. 3).

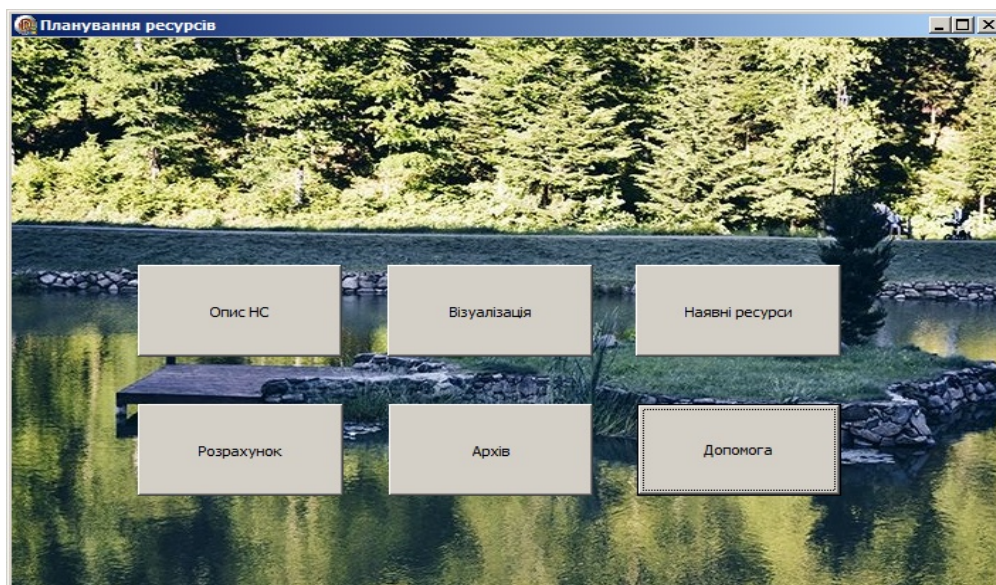


Рис. 3. Заголовне вікно логістичної інформаційної системи

Основними компонентами інформаційної системи є:

- опис НС – інтерфейс до бази даних щодо характеристик населених пунктів Закарпатської області, що дозволяє оперативно обрати постраждалі райони та міста Закарпатської області, підготувати інформацію щодо параметричної ідентифікації математичних моделей основних задач логістичної інформаційної системи;
- візуалізація – нанесення на карту Закарпатської області контурів постраждалих районів;
- наявні ресурси – структурована інформація щодо ресурсного забезпечення рятувальних робіт (рис. 4);
- розрахунок – інтерфейс із програмним забезпеченням розв'язання основних оптимізаційних задач логістичної інформаційної системи з планування та ресурсного забезпечення робіт з ліквідації наслідків гідрологічної ПНС в умовах гірської місцевості, що генерує необхідну вхідну інформацію для побудови задачі оптимізації ресурсів.

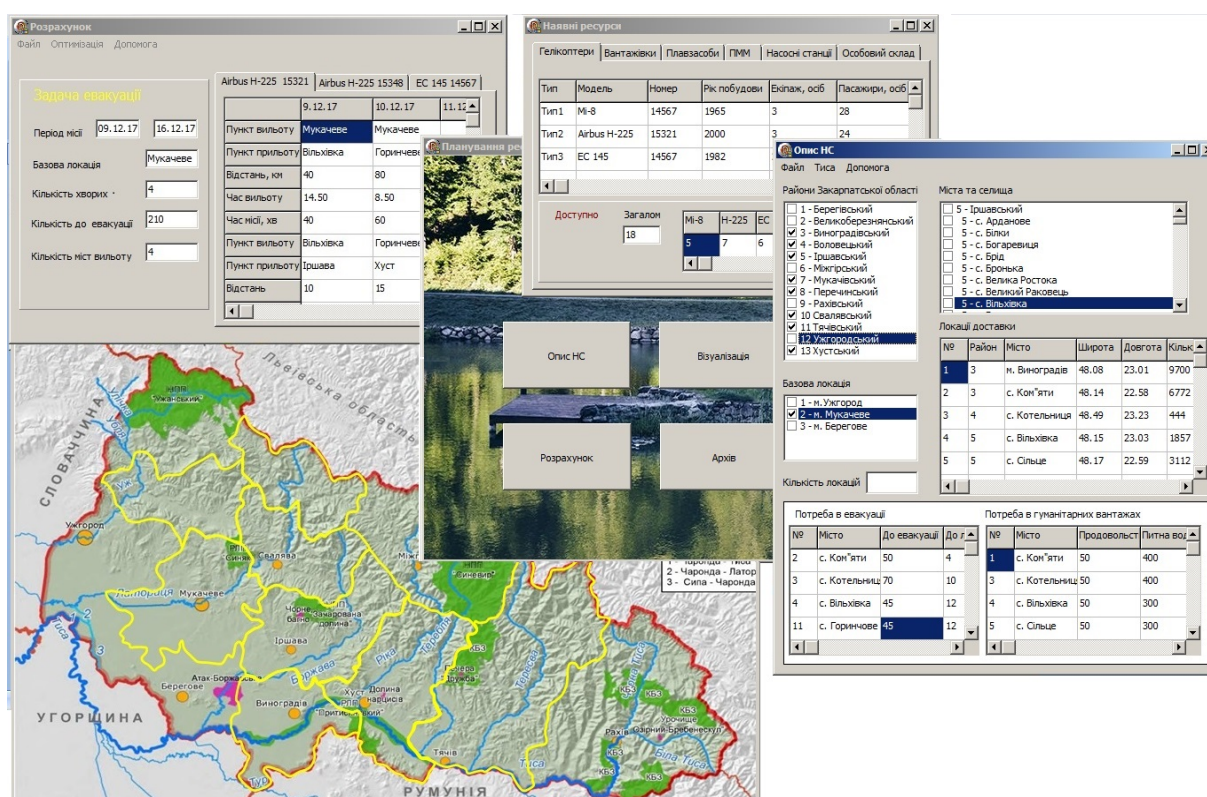


Рис. 4. Багатовіконний інтерфейс програмного додатку

Чисельна реалізація загальної схеми методу мінімізації ресурсів з ліквідації наслідків гідрологічної ПНС в умовах гірської місцевості виконана на прикладі гідрологічної ПНС, що сталася на території Закарпатської області у 2017 р.

Вихідні характеристики ПНС наведені у табл. 2.

Результати моделювання ПНС з урахуванням виконання задач з евакуації постраждалих та доставки гуманітарних вантажів у зону затоплення представлені в табл. 3.

Табл. 2. Параметри операції ліквідації гідрологічної ПНС в Закарпатті у грудні 2017 р.

Параметри ПНС	
Площа затоплення, км ²	1223
Кількість загиблих, осіб	1
Кількість населених пунктів, що підтоплено	21
Кількість населених пунктів, що підлягають евакуації	7
Кількість постраждалого/евакуйованого населення, тис. осіб	13.6/0.455
Стан ураженої території	
Кількість будинків: зруйновано/підтоплено	38/436
Кількість мостів: зруйновано/пошкоджено	3/15
Довжина автодоріг, км: зруйновано/пошкоджено	/ 2.4
Довжина залізниць, км: зруйновано/ пошкоджено	-/0.5
Пора року, температура повітря	13-18 грудня, <0 ⁰ С
В межах однієї області	Закарпатська
Ресурсне забезпечення процесу ліквідації наслідків ПНС	
Кількість аварійно-рятувальної техніки (АРТ)	93 од., в т.ч. від ДСНС 30 од.
Кількість людського ресурсу (особового складу)	563 особи в т.ч. від ДСНС – 124 осіб
Кількість матеріального ресурсу	21000 мішків піску, 4 пересувні насосні станції
Вантажі, у тому числі продовольство, т	240 т.
Питна вода, т	100 т.
Забезпечення транспортними засобами	15 плавзасобів
Збитки, млн. грн.	126

Табл. 3. Результати моделювання ПНС із застосуванням логістичної інформаційної системи

	Час прийняття рішення, год	Час доставки вантажів, год	Загальний час евакуації, год	Кількість особового складу	Кількість АРТ та ТЗ, одиниць	Сумарні витрати на ліквідацію
Базовий варіант	2-3 год.	48	16	532	57	826, 3 тис. грн.
Після оптимізації	0,71	18,5	4,2	186	31 та 3 гелікоптери	715,9 тис. грн.
Відносна ефективність		-44,8	-73,8	-65	-45,6	-13

7. Обговорення результатів дослідження

В результаті проведеного дослідження вирішено актуальну науково-практичну задачу зі створення спеціалізованого методичного та програмного забезпечення стосовно прийняття управлінського рішення щодо оперативного плану дій з ліквідації наслідків гідрологічної надзвичайної ситуації природного характеру, а саме системно розглянуті технічні, методологічні, програмні та організаційні характеристики процесу отримання, передачі та обробки інформації щодо перебігу гідрологічних надзвичайних ситуацій природного характеру в умовах гірської місцевості Карпатського масиву.

Запропонований підхід до аналізу джерел, типів та атрибутів вхідної інформації визначив стратегію її упорядкування, опрацювання та подання в інформаційній логістичній системі, що створено. В такому обсязі моделі та методи розв'язання логістичної оптимізаційної задачі навантаження та маршрутизації парку гелікоптерів в інформаційному середовищі ДСНС України реалізуються вперше.

Алгоритмічна та програмна реалізація чисельного методу із застосуванням оптимізаційних методів дозволила створити прототип логістичної інформаційної системи підтримки прийняття управлінських рішень щодо використання наявних ТЗ ТП ДСНС України з урахуванням існуючої структури інформаційного забезпечення моніторингу гідрологічних ПНС та форматів представлення вихідних даних. Результати чисельних експериментів із застосуванням інформації про гідрологічні ПНС, що сталися на Закарпатті, є підставою стверджувати, що використання розробленої логістичної інформаційної системи дає змогу підвищити ефективність ліквідації наслідків гідрологічної ПНС в умовах гірської місцевості.

Важливою характеристикою реалізованого підходу є можливість розв'язання поставлених задач в динаміці з уточненням інформації щодо перебігу ПНС протягом її життєвого циклу, що особливо актуально для гідрологічних ПНС в умовах гірської місцевості.

8. Висновки

1. На основі вивчення відкритих літературних джерел та нормативних документів ДСНС України визначені параметри зовнішнього інформаційного середовища функціонування логістичної інформаційної системи підтримки прийняття управлінського рішення з планування та ресурсного забезпечення робіт з ліквідації наслідків гідрологічної ПНС в умовах гірської місцевості, що генерує необхідну вхідну інформацію для побудови задачі оптимізації ресурсів.

2. Створено концептуальну модель інформаційної логістичної системи з урахуванням структури зовнішнього інформаційного середовища ІС, що сьогодні формується в ДСНС України з урахуванням критеріїв професійної європейської спільноти, визначено структуру, склад та процедури упорядкування вхідної інформації щодо параметрів гідрологічної ПНС в гірській місцевості, що уможливило створення повнофункціонального програмного додатку як засобу підтримки прийняття управлінського рішення щодо ресурсного забезпечення рятувальних операцій. Останній включає базу даних під управлінням MySQL, а також програмне забезпечення розв'язання логістичних задач супроводу рятувальних робіт, що реалізує авторські математичні моделі та математичне забезпечення.

3. Проведені чисельні експерименти з метою оцінки ефективності подальшого застосування спеціалізованого апаратно-програмного забезпечення на прикладі задачі ліквідації наслідків гідрологічної надзвичайної ситуації природного характеру на території Закарпатської області. Застосування розроблених в роботі інструментальних засобів розв'язання оптимізаційної задачі мінімізації обсягів ресурсного забезпечення процесу ліквідації ПНС дозволило знизити загальний час доставки вантажів на 44,8 %, загальний час евакуації на 73 %, сумарні витрати на ліквідацію ПНС – на 13 %.

В той же час, подальші дослідження необхідно орієнтувати на розробку заходів, що враховують наявну ієрархію підпорядкування та управління рятувальними роботами та застосування методів штучного інтелекту для обробки експертної інформації щодо параметрів гідрологічної надзвичайної ситуації природного характеру в гірській місцевості.

Література

1. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Civil Security. DOI: 10.5281/zenodo.3901996

Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr> (дата звернення: 15.04.2020).

2. Stoyko S., Koynova I. Anthropogenic transformation of natural ecosystems of Ukrainian Carpathians and programme of sustainable development. Visnyk of the Lviv University. 2014. Issue 45. P. 49–63.

3. Любінський А. Сучасний стан та перспективи модернізації системи цивільного захисту України. Ефективність державного управління. 2015. Вип. 43. С. 104–109.

4. NATO Research and Technology Organization / 2008 Technical Report No TR-SAS-045. Computer Based Decision Support Tools for Helicopter mission Planing in Disaster Relief and Military Operatons. URL : [https://www.sto.nato.int/publications/\\$\\$TR-SAS-045-ALL](https://www.sto.nato.int/publications/$$TR-SAS-045-ALL) (дата звернення: 15.04.2020).

5. Altay N., Green W. OR/MS research in disaster operations management. European Journal of Operational Research. 2006. 175. С. 475–493.

6. Cui Jianxun, An Shi, Zhao Meng A Generalized Minimum Cost Flow Model for Multiple Emergency Flow Routing. Mathematical Problems in Engineering. 2014. Vol. 3. P. 1–12.

7. Ozdamar Linet Planning helicopter logistics in disaster relief. OR Spectrum. 2011. V. 33. P. 655–672.

8. Khorsi M., Bozorgi-Amiri A., Ashjari B. A. Nonlinear Dynamic Logistics Model for Disaster Response under Uncertainty. Journal of Mathematics and Computer Science. 2013. Vol. 7. P. 63–72.

9. Ефективність системи раннього оповіщення та реагування на надзвичайні ситуації природного характеру. URL: http://old.ac-rada.gov.ua/img/files/EUROSAT/Presentation_Yatsiuk_ukr.pdf (дата звернення: 15.04.2020).

10. European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites. URL: www.eumetsat.int (дата звернення: 15.04.2020).

I. Chub¹, DSc, Professor, Head of Department

M. Novozhylova², DSc, Professor, Head of Department

R. Gudak³, Chief of the Department

¹National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

²O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine

³The State Emergency Service of Ukraine in Transcarpathian region, Uzhhorod, Ukraine

CREATION OF LOGISTIC INFORMATION SYSTEM FOR NATURAL HYDROLOGICAL EMERGENCE RELIEF OPERATIONS IN THE MOUNTAINS

The technical, methodological, program and organizational characteristics of the process of obtaining, transmitting and processing information on the course of hydrological emergencies (HM) of natural nature in the mountainous terrain of the Carpathian massif are considered in the work. An analysis of the components of the information environment currently being created in the SES of Ukraine and the prospects for the development of its systems in terms of Ukraine's entry into the European space. Components such as the formation of information on the parameters of hydrological emergencies of a natural nature in mountainous areas, the characteristics of the available resources of rescue units, the parameters of the affected area. The role of logistical support of works on liquidation of consequences of hydrological emergency situation of natural character is defined. On the basis of such analysis the functional model of the information environment of functioning of the logistic information system on support of acceptance of the administrative decision on liquidation of a hydrological emergency of natural character in the conditions of mountainous terrain is offered and proved. The

methodical providing of the decision of multicriteria optimization problem of resource maintenance of liquidation of emergency of a certain type is resulted. The logistics information system contains an interface that provides input and control of information by the decision maker, a database of relational type, as well as the corresponding mathematical software. In order to test the effectiveness of the developed software for solving optimization logistics problems, a number of experiments were conducted, in particular with the use of information about hydrological emergencies that occurred in Transcarpathia. The analysis of the obtained results allowed to assert the effectiveness of the logistics information system.

Keywords: Hydrological emergency situation of natural character in the conditions of mountainous terrain, optimization of resources, logistic information system

References

1. Pachauri, R. K. and Reisinger, A. (2007). IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Retrieved from: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr>
2. Stoyko, S., Koynova, I. (2014). Anthropogenic transformation of natural ecosystems of Ukrainian Carpathians and programme of sustainable development. *Visnyk of the Lviv University*, 45, 49–63.
3. Liubinskyi, A. (2015). Suchasnyi stan ta perspektyvy modernizatsii systemy tsyvilnoho zakhystu Ukrainy. *Efektivnist derzhavnoho upravlinnia*, 43, 104–109.
4. NATO Research and Technology Organization / 2008 Technical Report No TR-SAS-045. Computer Based Decision Support Tools for Helicopter mission Planing in Disaster Relief and Military Operatons. Retrieved from: [https://www.sto.nato.int/publications/\\$\\$TR-SAS-045-ALL](https://www.sto.nato.int/publications/$$TR-SAS-045-ALL)
5. Altay, N., Green, W. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175, 475–493.
6. Cui, Jianxun, An, Shi Zhao, Meng (2014). A Generalized Minimum Cost Flow Model for Multiple Emergency Flow Routing. *Mathematical Problems in Engineering*, 3, 1–12.
7. Ozdamar, L. (2011). Planning helicopter logistics in disaster relief. *OR Spectrum*, 33, 655–672.
8. Khorsi, M., Bozorgi-Amiri, A., Ashjari, B. (2013). A Nonlinear Dynamic Logistics Model for Disaster Response under Uncertainty. *Journal of mathematics and computer Science*, 7, 63–72.
9. Efektivnist systemy rannoho opovishchennia ta reahuvannia na nadzvychni situatsii pryrodnoho kharakteru. Retrieved from: http://old.ac-rada.gov.ua/img/files/EUROSAT/Presentation_Yatsiuk_ukr.pdf
10. European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites. Retrieved from: www.eumetsat.int

Надійшла до редколегії: 20.02.2020

Прийнята до друку: 25.02.2020