

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ INFORMATION TECHNOLOGY AND MATHEMATICAL MODELING

УДК 004.5:004.6:007.51 355.588.3

Oleksandr Nesterenko¹, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Head of the Department of Information Technologies
ORCID ID: 0000-0001-5329-889X *e-mail*: oleksandr_nesterenko@ieu.edu.ua

Valery Polischuk², Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher
ORCID ID: 0000-0001-6991-0617 *e-mail*: valery.polischuk@ukr.net

Volodymir Khyzhniak³, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Head of the Department of Aviation and Aviation Search and Rescue
ORCID ID: 0000-0003-0437-749X *e-mail*: ndc.avia@gmail.com

Viktor Shevchenko³, Candidate of Military Sciences, Associate Professor
ORCID ID: 0000-0002-8360-0217 *e-mail*: vikleon.shevchenko@gmail.com

¹International European University, Kyiv, Ukraine

²Ukrainian Scientific Center for Development of Information Technologies, Kyiv, Ukraine

³Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine

DECISION-MAKING INFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE RESOURCES DETERMINATION OF FOREST FIRE EXTINGUISHING BY AVIATION

***Abstract.** The article proposes a solution to the scientific and applied problem of decision support automation in case of determined resource provision of civil defense forces for extinguishing forest fires. This topic is of great relevance both in peacetime and in the conditions of the current armed aggression of the Russian Federation against Ukraine. The solved task is an important element of resolution the more complex problem of prompt response to emergency situations in the ecological and technogenic spheres. To solve this problem, a software environment for automated decision-making support by experts is proposed based on the integration method, which provides structuring of data, support of expert judgments, and visualization of decision-making processes. The functionality of this software environment is considered on the example of the use of the integration expert method and relevant information technologies to determine the resources of aviation groups for the purpose of forming a plan of operational response to the elimination of forest fires. A hierarchical model of the problem is given in accordance with AHP requirements. Also, in order to increase the effect of the conducted modeling and ranking of alternatives, the use of a network model of the problem and ANP*

application (which is a AHP development) to support decision-making are proposed. The ANP implementation is illustrated using the freely distributed SuperDecisions software. The developed scientific and practical approaches and toolkit are intended for functioning in operational units of the state service for emergency situations, but they can also be used in other power structures. The obtained results are aimed at increasing the level of environmental safety in forest areas and can be used to support nature management in different regions.

Keywords: AHP; ANP; acceptable vote; visualization; graphs; ecological safety.

О.В. Нестеренко¹, В.Б. Поліщук², В.В. Хижняк³, В.Л. Шевченко³

¹Міжнародний європейський університет, м. Київ, Україна

²Державне підприємство «Український науковий центр розвитку інформаційних технологій», м. Київ, Україна

³Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, м. Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖИ ЗАСОБАМИ АВІАЦІЇ

Анотація. В статті пропонується вирішення науково-прикладної задачі автоматизації підтримки прийняття рішень щодо визначення ресурсного забезпечення сил цивільного захисту при гасінні лісових пожеж. Дана тематика має значну актуальність як для мирного часу, так і в умовах поточної збройної агресії Російської Федерації проти України. Розв'язана задача є важливим елементом вирішення більш комплексної проблеми оперативного реагування на надзвичайні ситуації в екологічній та техногенній сферах. Для вирішення даної задачі запропоноване програмне середовище автоматизованої підтримки прийняття рішень експертами на основі інтеграційного методу, що забезпечує структурування даних, підтримку експертних суджень та візуалізацію процесів прийняття рішень. Функціональність цього програмного середовища розглянуто на прикладі використання інтеграційного експертного методу та відповідних інформаційних технологій для визначення ресурсів авіаційних угруповань з метою формування плану оперативного реагування на ліквідацію лісових пожеж. Наведено ієрархічну модель задачі у відповідності до вимог методу аналізу ієрархій. Також для підвищення ефекту від проведених моделювання та ранжування альтернатив запропоновано використання мережевої моделі задачі та застосування для підтримки прийняття рішень методу аналітичних мереж, який є розвитком методу аналізу ієрархій. Реалізація методу аналітичних мереж проілюстрована з використанням СППР SuperDecisions, що вільно розповсюджується. Розроблені науково-практичні підходи та інструментарій призначені для функціонування в оперативних підрозділах державної служби з надзвичайних ситуацій, однак можуть застосовуватись й в інших силових структурах. Отримані результати спрямовані на підвищення рівня екологічної безпеки в лісових ареалах та можуть бути використані для підтримки природокористування в різних регіонах.

Ключові слова: метод аналізу ієрархій; метод аналітичних мереж; схвальне голосування; візуалізація; графи; екологічна безпека.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.2.109-123>

Вступ

Одним з проблемних питань у сфері реагування на надзвичайні ситуації (НС) є пошук раціональних рішень щодо визначення і планування відповідних ресурсів для оснащення ними аварійних формувань з метою забезпечення необхідних спроможностей [1]. Особливо це стосується ліквідації лісових пожеж (ЛП), які останнім часом являють найбільшу небезпеку в природних екосистемах і є одними з викликів 21 століття [2].

Сучасним ефективним способом гасіння ЛП є залучення авіації, яке передбачає скидання рідини з повітряних суден (ПС) на охоплені вогнем ділянки. Успіх у гасінні ЛП суттєво пов'язаний з наданням у розпорядження необхідної кількості ресурсів (літаків та вертольотів) та вибором «найкращого» варіанта дій авіації при формуванні полоси локалізації пожежі. Для визначення такого варіанта необхідно враховувати значну кількість чинників, а саме місцевість (гірська, рівнинна), характер пожежі, вид та інтенсивність пожежі, площу охоплення пожежею, конфігурацію палаючої крайки, висоту полум'я, задимленість, метеорологічні умови виконання польотних завдань та ін., а також наявний склад авіаційних засобів, аеродроми їх базування, розміщення водоймищ забору води та ін. Необхідно також зазначити, що дії ПС при гасінні пов'язані зі значним рівнем ризику небезпеки, адже ЛП супроводжуються високою температурою горіння, інтенсивною турбулентністю повітря та задимленням [3].

Таким чином, з метою розрахунку сил і засобів для ліквідації ЛП, розроблення та доведення до учасників гасіння планової таблиці польотів ПС в район ЛП керівник гасіння повинен оперувати значеннями багатьох різноманітних даних задля вибору альтернатив складу повітряних суден та способів їх застосування. Це завдання представляє собою багатокритеріальну задачу з множиною альтернатив, а сам процес прийняття рішення супроводжується проходженням великих інформаційних потоків, яким притаманна значна чисельність аспектів/властивостей, що впливають на якість прийнятого рішення. В сучасних умовах розвитку технологій процес вибору раціонального варіанта складу і структури ресурсів зазвичай передбачає використання відповідного аналітичного інструментарію, що забезпечує моделювання різних варіантів сценаріїв розвитку надзвичайної ситуації (НС) та визначення основних завдань, виконання яких гарантуватиме ліквідацію наслідків НС.

Огляд літератури

Кризові події та стихійні лиха останніх років підкреслюють той факт, що прийняття рішень для управління залишається викликом для менеджерів. Незважаючи на те, що за останнє десятиліття з'явилися нові та інноваційні методи збору даних та їх аналізу, поширення застосування штучного інтелекту та сучасних засобів комунікацій, які все частіше використовуються на всіх етапах управління ризиками стихійних лих, проте між науковими дослідженнями, оперативним цивільним захистом і підтримкою прийняття рішень все ще існують розриви [4].

Для подолання цих невідповідностей дослідники та фахівці пропонують низку підходів до підтримки прийняття рішень у багатокритеріальному

середовищі, зокрема спираючись на евристичні інтерактивні та експертні методи. В роботі [5] представлено методологію, розроблену для оцінки ризиків і наслідків на ранніх стадіях надзвичайних екологічних ситуацій для підтримки цивільного захисту країн Європейського Союзу. Зважається на те, що здатність швидко оцінити потенційні ризики і наслідки НС має першочергове значення, однак зібрати необхідні докази на ранніх стадіях НС є серйозною проблемою. У цій статті запропоновано онлайн-інструмент швидкої оцінки ризиків і наслідків для сприяння поглибленій співпраці між експертами, які працюють віддалено, враховуючи вплив катастрофи на навколишнє середовище.

Для забезпечення підтримки прийняття рішень автори пропонують різноманітні підходи до моделювання НС. В роботі [6] розглядається проблема прийняття рішень щодо планування гасіння лісових пожеж в умовах обмежених ресурсів на основі цілочисельної моделі лінійного програмування та нечіткої логіки. В статті [7] представлено оптимізаційну модель збалансованого транспортування для вибору аеродрому як бази для літальних апаратів, які експлуатуються для гасіння природних і лісових пожеж.

Серед методів підтримки прийняття рішень в надзвичайних умовах, які характеризуються високою складністю та внутрішньою невизначеністю, значного поширення знайшов експертний метод аналізу ієрархій (МАІ), за зарубіжною літературою відомий як АНР (Analytic Hierarchy Process). У статті [8] зазначається, що величезна кількість інформації, пов'язаної з управлінням, зазвичай доступна у формі експертних знань і може бути цінним джерелом для підвищення ефективності процесів прийняття рішень. Тому запропоновано використання МАІ для інтеграції як наукових, так і експертних знань у процес прийняття рішень для ранжування найбільш підходящих заходів для боротьби з аварійними ситуаціями, а також для явного включення деяких критеріїв, які є дуже актуальними під час криз, але часто їх важко враховувати. У дослідженні [9] звертається увага, що для управління природними ресурсами корисним для надання рішень є багатокритеріальний аналіз рішень. На прикладі оцінювання такого ресурсу, як каштановий ліс, застосовуються методології A'WOT та SWOT-аналізу, де об'єктива кількісна оцінка параметрів здійснюється за допомогою МАІ. Також у статті [10] з використанням МАІ досліджується просторовий багатокритеріальний аналіз рішень на основі як кількісних даних, так і експертних оцінок, щоб мати можливість ідентифікувати місця, де активи знаходяться під найбільшим ризиком через можливість бути постраждалими від лісових пожеж.

Серед засобів підтримки прийняття рішень набуває значної популярності візуалізація процесів та даних. Візуалізації досліджуються різними способами, починаючи від опрацювання основних принципів створення візуалізацій до вивчення когнітивних процесів, що лежать в основі їх використання [11]. Візуалізація має неабияке значення особливо при прийнятті групових рішень, коли двоє або більше експертів мають колективно зробити вибір з конкуруючого набору альтернатив на основі власних індивідуальних уподобань. У таких ситуаціях експертам може бути корисним моделювання та візуальне порівнювання своїх уподобань з іншими, щоб краще зрозуміти точки зору один одного. У статті [12] прототип, що пропонується авторами, у режимі порівняння альтернатив відображає графік паралельних координат, який демонструє переваги експертів. При перемиканні в режим порівняння

оцінювачів (експертів) натомість відображається діаграма. Для аналізу великих наборів даних «на льоту» використовуються теплові карти, що влаштовані у вигляді сітки як табличні гістограми з колірною позначкою.

Для служб цивільного захисту та інших служб реагування, що розгортають ресурси на місцях, виняткову вагу має візуалізація на основі картографування, зокрема для визначення зон з суттєвим ризиком виникнення кількох одночасних небезпек, наприклад пожежної небезпеки та теплового стресу. В статті [13] представлено використання просторових шарів, які відображають сукупну небезпеку, для прийняття рішень в контексті прогнозування і раннього попередження про різні небезпеки.

Вже наведений огляд літератури свідчить про важливість інформаційної підтримки прийняття рішень. Сучасним підходом до структурування різноманітної інформації є застосування онтологій [14]. Онтологічний підхід дозволяє інтегрувати експертні знання на основі ієрархічної структури даних та відношень між поняттями та об'єктами предметної області для загального розуміння інформаційних структур, забезпечує багатократне застосування знань, надає засоби для аналізу знань. При цьому важливо, що онтологія забезпечує підтримку прийняття рішень за рахунок можливості програмно-інтерпретованого комп'ютерного подання знань. Враховуючи, що багатокритеріальна задача може бути представленою ієрархічною системою, а метод аналізу ієрархій добре підходить для ієрархічних структур даних, в багатьох роботах пропонується застосуванням MAI разом з онтологіями [15].

Проведений аналіз свідчить, що для прийняття рішень в багатокритеріальному середовищі потрібно застосовувати мультифункціональні методології підтримки, які б враховували інформаційну складність задач [16]. На основі такої методології в роботах [17, 18] запропоновано та обґрунтовано експертний метод, що інтегрує засоби структурування даних предметної області на основі онтологій, методів схвального голосування та MAI, а також інструментарію орієнтованих графів для візуалізації процесів прийняття рішень. З використанням експериментального зразка програмного засобу цього інтеграційного методу, розробленого в Українському науковому центрі розвитку інформаційних технологій, виконано низку апробацій в сфері оборони та цивільного захисту.

Матеріали і методи

Розглянемо одну з апробацій вищеназваного інтеграційного методу на прикладі оцінювання варіантів складу авіаційного угруповання, яке залучається для гасіння ЛП. У прикладі використано модель у складі 5 альтернатив як варіантів складу повітряних суден, наприклад, з літаків одного типу, з літаків одного типу і вертольотів одного типу та ін., а також дворівневої ієрархічної структури критеріїв.

Застосування ієрархічної моделі. З метою спрощення використання результатів експертного оцінювання варіантів організації польотів та зменшення обсягу експертної діяльності перелік альтернатив у даному прикладі обмежений варіантами формування смуги локалізації лісової пожежі та варіантами формування складу авіаційного угруповання, що залучається до гасіння ЛП, оцінювання яких виконується для кожного типу лісової пожежі (приклад типової лісової пожежі: гірська місцевість, верхова пожежа, складна

лінія крайки пожежі та ін.). У табл. 1 наведено перелік альтернативних варіантів формування смуги локалізації лісової пожежі (альтернативи 1-го рівня), для кожного з яких можливі декілька альтернатив 2-го рівня щодо формування складу авіаційного угруповання, що залучається до гасіння ЛП (табл. 2). Таким чином, модель альтернатив представляє дворівневе дерево, наведене на рис. 1.

Таблиця 1. Альтернативні варіанти формування смуги локалізації лісової пожежі (альтернативи 1-го рівня)

Назва альтернативи 1-го рівня	Позначення альтернативи
Послідовно по фронті палаючої крайки	A11
Одночасно по фронті із флангів палаючої крайки	A12
В одній зоні з рознесенням по місцю палаючих осередків	A13

Таблиця 2. Склад авіаційного угруповання

Назва альтернативи 2-го рівня	Позначення альтернативи
3 літаків одного типу	A21
3 вертольотів одного типу	A22
3 вертольотів різних типів	A23
3 групи літаків одного типу і вертольотів одного типу	A24
3 літаків одного типу і вертольотів різного типу	A25

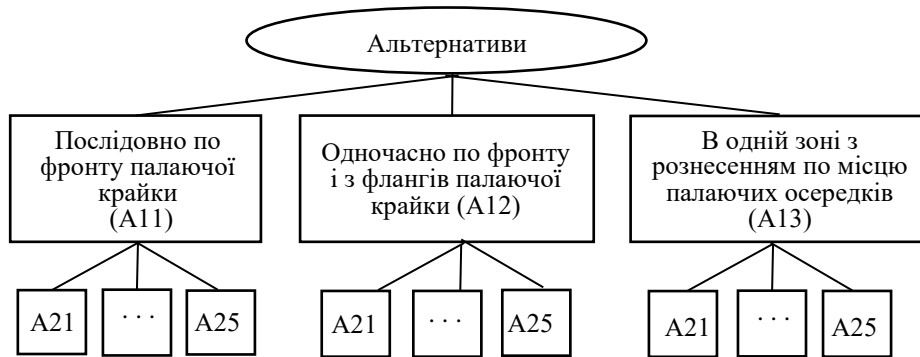


Рис. 1. Модель альтернатив

Як уже зазначалось вище, метою участі авіації у гасінні лісової пожежі є локалізація (зупинення просування) палаючої крайки лісової пожежі визначеної довжини за мінімальний час, з мінімальними фінансовими витратами в умовах прийняттого рівня безпеки польотів. Тому критеріями ефективного застосування авіаційної техніки для гасіння лісової пожежі всіх типів (критерії першого рівня) повинні бути у першу чергу час на локалізацію пожежі, фінансові витрати на локалізацію пожежі та безпека виконання польотів (табл. 3). На другому рівні використовуються 7 критеріїв (табл. 4).

Таким чином, ієрархія критеріїв має три кущі критеріїв 1-го рівня, кожен з яких має власні гілки критеріїв 2-го рівня (рис. 2). Повна ієрархія моделі прикладу для застосування МАІ наведена на рис. 3.

Таблиця 3. Критерії ефективного застосування авіаційної техніки для гасіння лісових пожеж 1-го рівня

Назва критерію 1-го рівня	Позначення критерію
Час на локалізацію пожежі	K11
Фінансові витрати на локалізацію пожежі	K12
Безпека виконання польотів	K13

Таблиця 4. Критерії 2-го рівня та їх зв'язок з критеріями 1-го рівня

Назва критерію 2-го рівня	Позначення критерію	Відношення до критерію 1-го рівня
Кількість скидань вогнегасної рідини за один політ	K21	K11
Тривалість дій	K22	K11
Усезональність	K23	K11
Залежність від висоти полум'я	K24	K13
Залежність від турбулентності потоків	K25	K13
Залежність від задимленості	K26	K13
Вартість залучення повітряних суден за 1 год	K27	K12

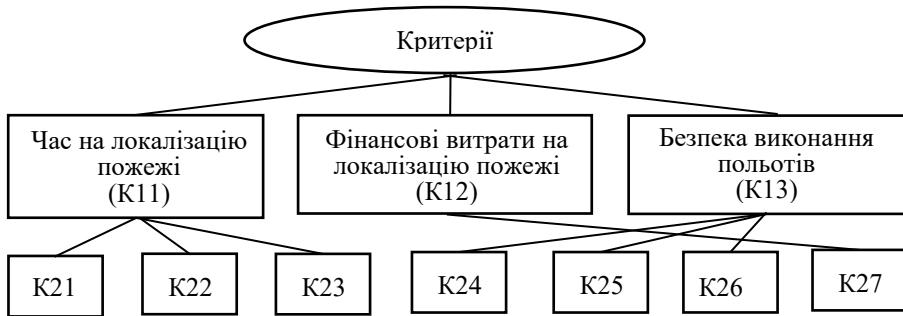


Рис. 2. Критерії двох рівнів

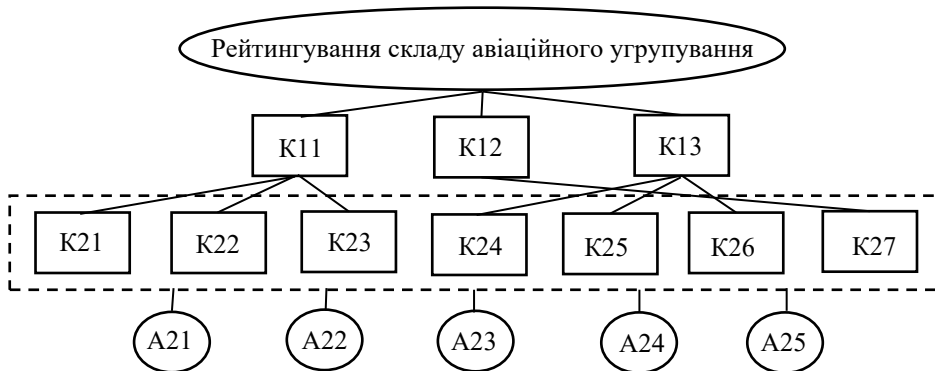


Рис. 3. Ієрархія моделі задачі МАІ для визначення рейтингу складу авіаційного угруповання

У стандартному варіанті застосування методу аналізу ієрархій розглядається один рівень альтернатив, які можуть оцінюватись відповідно до декількох рівнів критеріїв. Тому у нашому прикладі цей метод може бути застосований на першому кроці процедури для альтернатив першого рівня, а потім на другому кроці для альтернатив 2-го рівня для кращої з альтернатив 1-го рівня.

Іншим способом приведення запропонованої моделі альтернатив у прикладі застосування авіації для гасіння лісових пожеж може бути застосування на 1-му кроці методу схвального голосування. Модифікована авторами інтеграційного методу версія методу схвального голосування коротко описана в [18]. Результатом застосування цього методу теж буде відранжований перелік альтернатив 1-го рівня.

Нижче наведена ілюстрація оцінювання варіантів складу авіаційного угруповання, яке залучається для гасіння ЛП, з використанням експериментального зразка програмного засобу, розробленого в Українському науковому центрі розвитку інформаційних технологій, у якому реалізований інтеграційний метод. Детальний опис експериментального зразка наведений в [18].

На рис. 4 наведені фрагменти інтерфейсу програмного засобу при оцінюванні альтернативних варіантів складу повітряних суден для вибраного варіанта формування смуги локалізації лісової пожежі, а саме – «Послідовно по фронту палаючої крайки» (A11).

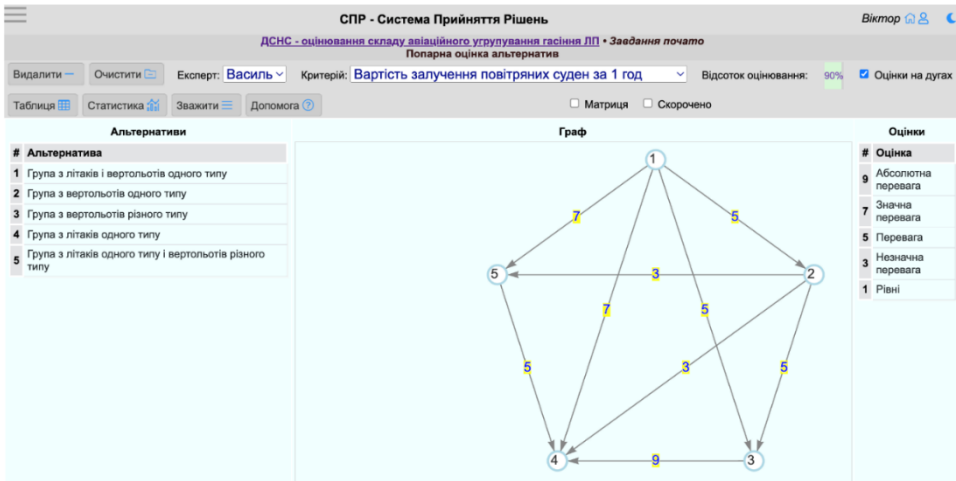


Рис. 4. Фрагменти інтерфейсу програмного засобу при оцінюванні альтернативних варіантів складу повітряних суден для варіанта формування смуги локалізації лісової пожежі «Послідовно по фронту палаючої крайки»

Застосування мережевої моделі. Для врахування додаткових факторів, приміром, ризиків застосування авіації, пов'язаних з турбулентністю, рівнем задимленості, напрямом і швидкістю вітру, іншими метеорологічними умовами та рельєфом місцевості, тобто для вирішення більш складних ресурсних задач, які є дуже актуальними в сучасних умовах, ієрархічної структури вже недостатньо. У якості базового методу у таких задачах застосовується метод аналітичних мереж, який є розвитком методу аналізу

ієрархій і який допускає наявність залежностей між її елементами. Застосування мережевої моделі забезпечує також пошук раціонального рішення з врахуванням спільних дій наземних аварійно-рятувальних підрозділів з екіпажами пожежних повітряних суден. Окрім загальної обстановки, враховуються більш різноманітне коло чинників та їх взаємовпливи, зокрема забезпечення прийнятної безпеки застосування як наземних підрозділів, так і авіації.

Мережеву модель доцільно будувати шляхом послідовного нарощування ієрархічної моделі новими зв'язками між елементами/компонентами, які знаходяться на одному рівні або на різних (необов'язково сусідніх) рівнях ієрархії. Таку мережеву модель (рис. 5) доцільно будувати шляхом розширення вже побудованих раніше моделей.

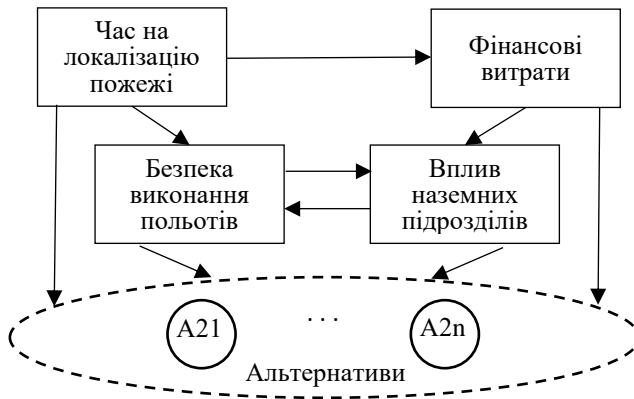


Рис. 5. Приклад мережевої структури для моделювання гасіння лісової пожежі засобами авіації із залученням наземних аварійно-рятувальних підрозділів

На рис. 6 наведена модель для задачі визначення необхідних ресурсів для гасіння лісових пожеж засобами авіації, у якій врахований реально існуючий вплив критеріїв між собою, а саме, критерій «Час на локалізацію пожежі» (К11) впливає на критерій «Фінансові витрати на локалізацію пожежі» (К12) та «Безпека виконання польотів» (К13).

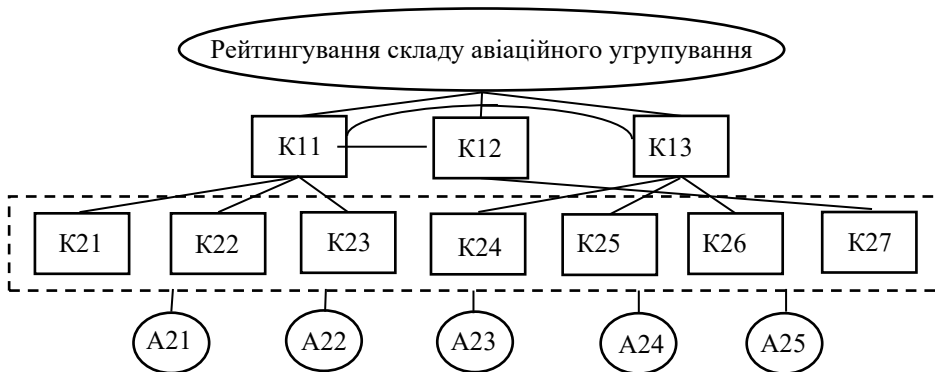


Рис. 6. Мережева модель для оцінювання варіантів складу авіаційного угруповання, яке залучається до гасіння лісової пожежі

Для розв'язання задач із застосуванням МАМ рекомендовано використовувати одну із найбільш поширених на сьогоднішній день СППР SuperDecisions, яка вільно розповсюджується. Розв'язання задач методом аналітичних мереж в SuperDecisions виконується в декілька етапів: формування структури задачі; оцінка елементів ієрархії; формування суперматриць і розрахунок коефіцієнтів важливості елементів; аналіз отриманих результатів.

На рис. 7 представлена ієрархічна модель предметної області в середовищі Super Decisions, яка складається з кластерів (мета, критерії, підкритерії (вузли, елементи), альтернативи) і зв'язків між ними. На рис. 8 відображена мережева модель, яка створена додаванням зв'язку між K11 і K12.

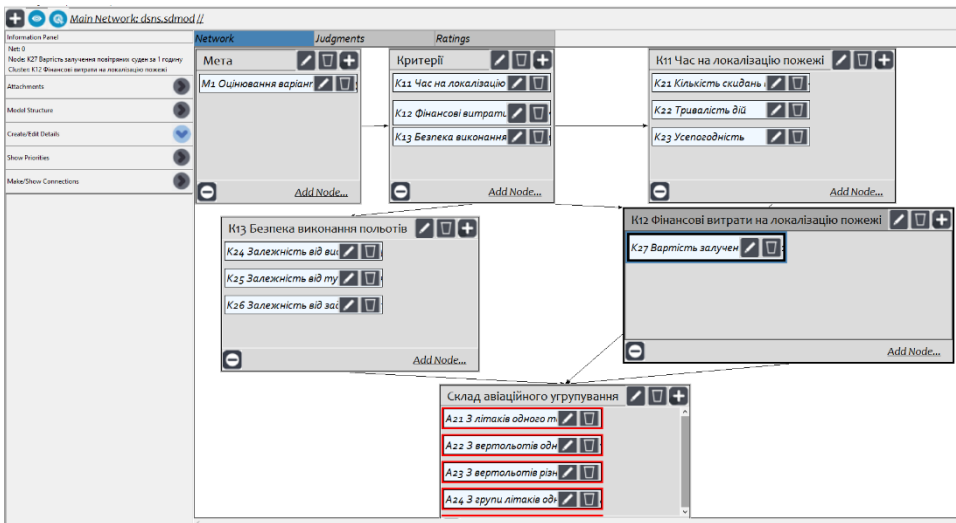


Рис. 7. Ієрархічна модель предметної області

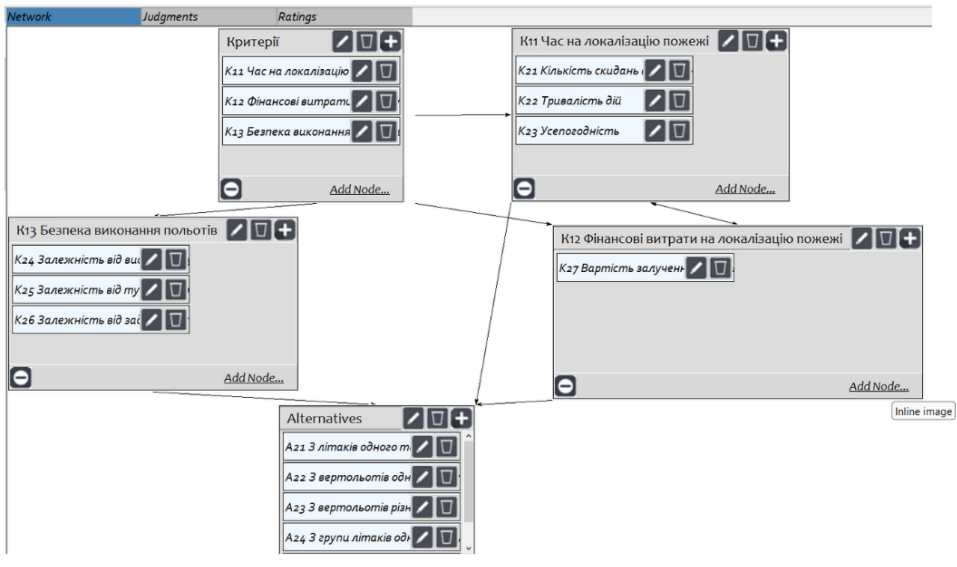


Рис. 8. Мережева модель предметної області

Оцінка елементів моделі виконується шляхом попарного порівняння для всіх наборів вузлів. Причому вузли, які підлягають попарному порівнянню, можуть знаходитись як в одному, так і в різних кластерах. На рис. 9 наведений приклад попарних порівнянь альтернатив по підкритерію K27.



Рис. 9. Приклад попарних порівнянь альтернатив по підкритерію K27

При цьому використовується шкала Т. Сааті, яка передбачає значення від 1 (однакова значимість) до 9 (абсолютна перевага). Аналогічним способом виконуються попарні порівняння по всіх зв'язках моделі.

Згідно з МАМ після проведення попарних порівнянь формуються зважена, незважена і гранична матриці. В результаті обчислень по алгоритму МАМ отримується графічне представлення та значення пріоритетів альтернатив (рис. 10).

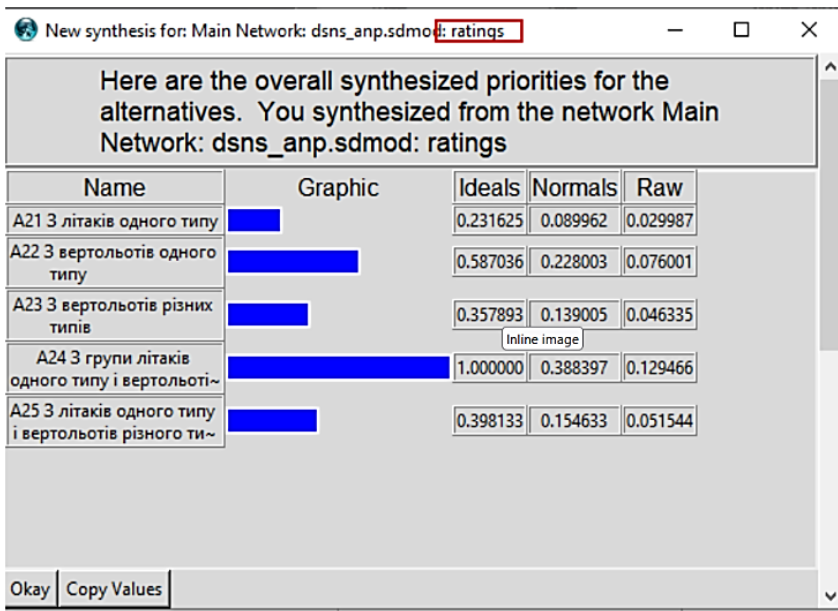


Рис. 10. Графічне представлення та значення пріоритетів альтернатив

Super Decisions також надає можливість розрахувати рейтинг альтернатив по кожному з критеріїв. На рис. 11 наведено приклад рейтингів для підкритерію K27.

Для практичного використання кращих варіантів складу авіаційного угруповання, що залучається до гасіння лісової пожежі (альтернативи 2-го

рівня), необхідно розробляти планові таблиці польотів, у яких конкретизуються типи повітряних суден, дані про екіпажі, погодинний графік польотів, кількість заправлень та скидань, сумарний наліт та загальна вартість залучення авіації з урахуванням віддаленості аеродромів базування та водойм водозабору від центру ЛП, спроможності у формуванні смуги локалізації та рівня підготовки і готовності екіпажів повітряних суден.

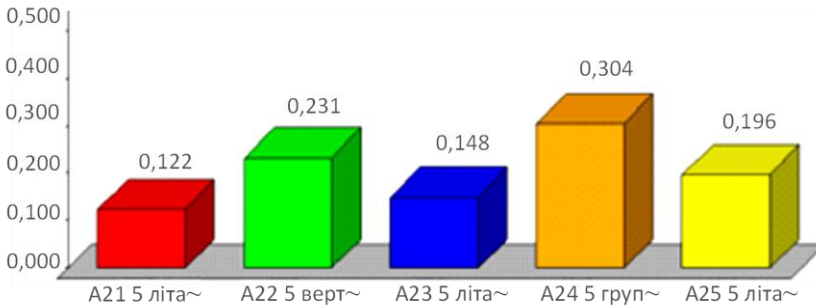


Рис. 11. Рейтинг альтернатив по підкритерію K27

При цьому використовуються атрибутивні описи об'єктів онтологічної моделі, а саме “Склад льотних екіпажів” та “Нормативні обмеження”. Доступність даних таких описів для особи, що приймає рішення, забезпечується їх наявністю в базі даних інформаційної системи, яка може використовуватись для підтримки планування польотів.

Висновки

За результатами досліджень, наведених в даній роботі, розглянуто питання підтримки прийняття рішень при визначенні ресурсного забезпечення сил цивільного захисту при гасінні лісових пожеж; визначено основні особливості прийняття рішень в умовах багатокритеріальності та інформаційної складності завдань; показано необхідність застосування мультифункціонального інструментарію для забезпечення структурування даних, підтримки експертних суджень та візуалізації процесів прийняття рішень; наведено приклад, що демонструє можливість використання інтеграційного експертного методу та відповідних інформаційних технологій для визначення ресурсів авіаційних угруповань з метою формування плану оперативного реагування з метою ліквідації лісових пожеж, що сприятиме раціональному використанню матеріальних, людських і фінансових ресурсів, зниженню втрат та збитків від надзвичайних ситуацій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нестеренко О.В. Метод експертної оцінки спроможностей сил цивільного захисту. Екологічна безпека та природокористування. 2021. Вип. 3 (39). С. 88-101. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.88-101>
2. Зібцев С.В., Сошенський О.М., Миронюк В.В., Гуменюк В.В. Ландшафтні пожежі в Україні: поточна ситуація та аналіз чинної системи охорони природних територій від пожеж. Український журнал лісівництва та деревинознавства. 2020. № 2. С. 15-31.

3. Хижняк В.В., Шевченко В.Л. Теоретичні засади інноваційних рішень в управлінні безпекою польотів державної авіації. Цивільний захист та пожежна безпека. 2017. №2 (4). С. 73-80.
4. Thiebes B., Winkhardt-Enz R. Challenges and opportunities using new modalities and technologies for multi-risk management. *Natural Hazards*. 2022. 1-4. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05516-3>
5. Goode EJ, Thomas E., Landeg O., and all. Development of a Rapid Risk and Impact Assessment Tool to Enhance Response to Environmental Emergencies in the Early Stages of a Disaster: A Tool Developed by the European Multiple Environmental Threats Emergency NETWORK (EMETNET) Project. *International journal of disaster risk science*, 2021. 12(4). P. 528-539. <https://doi.org/10.1007/s13753-021-00352-8>
6. Wang L., Wu P., Chu F. A multi-objective emergency scheduling model for forest fires with priority areas. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, December 2020. 9309821. 2020. Pp. 610–614. <https://doi.org/10.1109/IEEM45057.2020.9309821>
7. Ekström L., Große C. Choice of airport in extinguishing wildfires: Model and cases. *Proceedings of the 9th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems ICORES 2020*. 22- 24 February 2020, Valletta. 2020. 158677. 364–371.
8. Pagano A., Giordano R., Vurro M. A Decision Support System Based on AHP for Ranking Strategies to Manage Emergencies on Drinking Water Supply Systems. *Water Resources Management*. 2021. 35. 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02741-y>
9. Bruzzese S., Blanc S., Novelli S., Brun F. A Multicriteria Analysis to Support Natural Resource Governance: The Case of Chestnut Forests. *Research*. 2023. 12(3). 40. <https://doi.org/10.3390/resources12030040>
10. Rivière M., Lenglet J., Noirault A., Pimont F., Dupuy J.-L. Mapping territorial vulnerability to wildfires: A participative multi-criteria analysis. *Forest Ecology and Management*. 2023. Vol. 539. 121014. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121014.2>
11. Padilla L. M., Creem-Regehr S. H., Hegarty M. et al. Decision making with visualizations: a cognitive framework across disciplines. *Cogn. Research*. 2018. 3, 29. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0120-9>
12. Hindalong E., Johnson J., Carenini G., Munzner T. Towards Rigorously Designed Preference Visualizations for Group Decision Making. *IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis)*; proceedings paper. 14-17 April, 2020, Tianjin, China. 2020181-190. <https://doi.org/10.1109/PacificVis48177.2020.5111>
13. Vitolo C., Di Napoli C., Di Giuseppe F., Hannah L. C., Pappenberger F. Mapping combined wildfire and heat stress hazards to improve evidence-based decision making. *Environment International*. 2019. Vol. 127. P. 21-34. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.008>
14. Nesterenko O., Trofymchuk O. Patterns in forming the ontology-based environment of information-analytical activity in administrative management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 5/2 (101). Pp. 33-42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180107>
15. Xu F.-X., Liu X.-H., Chen W., Zhou C., Cao B.-W. An ontology and AHP based quality evaluation approach for reuse parts of end-of-life construction machinery. *Mathematical Problems in Engineering*. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3481030>
16. Nesterenko O., Netesin I., Polischuk V., Selin Y. Multifunctional Methodology of Expert Evaluation Alternatives in Tasks of Different Information Complexity. *IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*. 2021. Pp. 226-231. <https://doi.org/10.1109/ATIT54053.2021.96787428>
17. Nesterenko O., Netesin I., Polischuk V., Trofymchuk O. Development of a procedure for expert estimation of capabilities in defense planning under multicriterial conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 4/2 (106). P. 33-43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208603>

18. Поліщук В.Б., Нетесін І.С., Нестеренко О.В. та ін. Інформаційні технології в управлінні оборонними ресурсами: методологічний контекст та приклади практичної реалізації. Частина 2 / Монографія. [За ред. В.Б. Поліщука]. Київ: УкрНЦ РІТ, 2021. 205 с.

Стаття надійшла до редакції 03.03.2023 і прийнята до друку після рецензування 13.06.2023

REFERENCES

1. Nesterenko, O.V. (2021). Expert assessment of capabilities civil defense forces. *Environmental Safety and Natural Resources*, 39(3), 88–101 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.88-101>
2. Zibtsev, S.V., Soshenskyi, O.M., Myroniuk, V.V., & Humeniuk, V.V. (2020). Landscape fires in Ukraine: current situation and analysis of the current system of protection of natural areas from fires. *Ukrainskyi zhurnal lisivnytstva ta derevynoznavstva*, 2, 15-31 [in Ukrainian].
3. Khyzhniak, V.V., & Shevchenko V.L. (2017). Theoretical foundations of innovative solutions in the management of flight safety of state aviation. *Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 4 (2), 73-80 [in Ukrainian].
4. Thiebes, B., & Winkhardt-Enz, R. (2022). Challenges and opportunities using new modalities and technologies for multi-risk management. *Natural Hazards*, 1-4. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05516-3>
5. Goode, E.J., Thomas, E., Landeg, O., et al. (2021). Development of a Rapid Risk and Impact Assessment Tool to Enhance Response to Environmental Emergencies in the Early Stages of a Disaster: A Tool Developed by the European Multiple Environmental Threats Emergency NETwork (EMETNET) Project. *International journal of disaster risk science*, 12(4), 528-539. <https://doi.org/10.1007/s13753-021-00352-8>
6. Wang, L., Wu, P., & Chu, F. (2020). A multi-objective emergency scheduling model for forest fires with priority areas. *Proceeding of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, December, 2020*, 610–614, 9309821. <https://doi.org/10.1109/IEEM45057.2020.9309821>
7. Ekström, L., & Große, C. (2020). Choice of airport in extinguishing wildfires: Model and cases. *Proceedings of the 9th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems ICORES 2020*, 22- 24 February, 2020, Valletta. 158677, 364-371.
8. Pagano, A., Giordano, R., & Vurro, M. (2021). A Decision Support System Based on AHP for Ranking Strategies to Manage Emergencies on Drinking Water Supply Systems. *Water Resources Management*, 35, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02741-y>
9. Bruzzese, S., Blanc, S., Novelli, S., & Brun, F. (2023). A Multicriteria Analysis to Support Natural Resource Governance: The Case of Chestnut Forests. *Research*, 12 (3), 40. <https://doi.org/10.3390/resources12030040>
10. Rivière, M., Lenglet, J., Noirault, A., Pimont, F., & Dupuy, J-L. (2023). Mapping territorial vulnerability to wildfires: A participative multi-criteria analysis. *Forest Ecology and Management*, 539, 121014. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121014.2>
11. Padilla, L.M., Creem-Regehr, S.H., Hegarty, M. et al. (2018). Decision making with visualizations: a cognitive framework across disciplines. *Cogn. Research*, 3, 29. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0120-9>
12. Hindalong, E., Johnson, J., Carenini, G., Munzner, T. (2020). Towards Rigorously Designed Preference Visualizations for Group Decision Making. *Proceedings of the IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis)*, 14-17 April, 2020, Tianjin, China, 181-190. <https://doi.org/10.1109/PacificVis48177.2020.5111>
13. Vitolo, C., Di Napoli, C., Di Giuseppe, F., Hannah, L. C., & Pappenberger, F. (2019). Mapping combined wildfire and heat stress hazards to improve evidence-based decision making. *Environment International*, 127, 21-34. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.008>

14. Nesterenko, O., & Trofymchuk O. (2019). Patterns in forming the ontology-based environment of information-analytical activity in administrative management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 5/2 (101). 33-42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180107>
15. Xu, F.-X., Liu, X.-H., Chen, W., Zhou, C., & Cao, B.-W. (2018). An ontology and AHP based quality evaluation approach for reuse parts of end-of-life construction machinery. *Mathematical Problems in Engineering*. 3481030. <https://doi.org/10.1155/2018/3481030>
16. Nesterenko, O., Netesin, I., Polischuk, V., & Selin, Y. (2021). Multifunctional Methodology of Expert Evaluation Alternatives in Tasks of Different Information Complexity. *Proceedings of the IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, 226-231. <https://doi.org/10.1109/ATIT54053.2021.96787428>
17. Nesterenko, O., Netesin, I., Polischuk, V., & Trofymchuk, O. (2020). Development of a procedure for expert estimation of capabilities in defense planning under multicriterial conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/2 (106), 33-43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208603>
18. Polishchuk, V.B., Netesin, I.E., Nesterenko, O.V. et al. (2021). *Information technologies in the management of defense resources: methodological context and examples of practical implementation*. Part 2. Monograph. [Ed. V.B. Polishchuk]. Kyiv: UkrNTs RIT.

The article was received 03.03.2023 and was accepted after revision 13.06.2023

Нестеренко Олександр Васильович

доктор технічних наук, доцент, старший дослідник, завідувач кафедри інформаційних технологій, Міжнародний європейський університет
Адреса робоча: 03187, Україна, м. Київ, пр. Академіка Глушкова, 42В
ORCID ID: 0000-0001-5329-889X **e-mail:** oleksandr_nesterenko@ieu.edu.ua

Поліщук Валерій Борисович

кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник, Державне підприємство «Український науковий центр розвитку інформаційних технологій»
Адреса робоча: 03187, Україна, м. Київ, пр. Академіка Глушкова, 44
ORCID ID: 0000-0001-6991-0617 **e-mail:** valery.polischuk@ukr.net

Хижняк Володимир Віталійович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри авіації та авіаційного пошуку і рятування, Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
Адреса робоча: 02000, Україна, м. Київ, вул. Вишгородська, 21
ORCID ID: 0000-0003-0437-749X **e-mail:** ndc.avia@gmail.com

Шевченко Віктор Леонтійович

кандидат військових наук, доцент, доцент кафедри авіації та авіаційного пошуку і рятування, Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
Адреса робоча: 02000, Україна, м. Київ, вул. Вишгородська, 21
ORCID ID: 0000-0002-8360-0217 **e-mail:** vikleon.shevchenko@gmail.com