

## МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ГАСІННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

Проаналізовано сучасні підходи до розроблення системи підтримки прийняття рішень при гасінні лісових пожеж, яка дасть змогу моделювати не тільки процес їх перебігу, але й прогнозувати ймовірність їх виникнення, а також провести оцінювання матеріальних, екологічних і соціально-організаційних наслідків від потенційних пожеж. Встановлено, що у загальному випадку управління процесом гасіння лісової пожежі можна розглядати як управління складною організаційною системою, яке складається з етапів збирання інформації, прийняття (вироблення та вибір) рішення, а також реалізації прийнятого рішення. Ці етапи циклічно повторюються, при цьому на кожному наступному кроці оцінюється якість процесу управління на попередньому кроці.

**Ключові слова:** лісова пожежа, математичне та імітаційне моделювання, управління процесом гасіння лісової пожежі, система підтримки прийняття рішень, методи прийняття управлінських рішень, критерії управління.

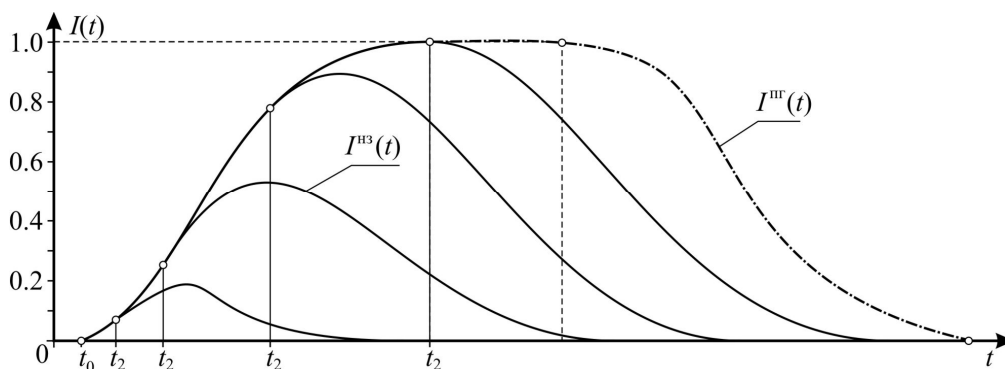
**Вступ.** Лісова пожежа (ЛП) – стихійне, некероване поширення вогню лісовими масивами [4], основними причинами виникнення яких є [3]:

- необережне поводження з вогнем місцевого населення, відпочивальників, туристів, мисливців, рибалок, грибників і інших осіб при відвідинах лісу (непогашене вогнище чи недопалок, не загашений сірник, іскри з глушника автомобіля і т.д.) – 50-60 %;
- весняні та осінні неконтрольовані сільськогосподарські підпали (випалювання сухої трави на сінокосах, відгінних пасовищах для худоби, а також стерні на полях) – 15-20 %;
- порушення правил пожежної безпеки лісозаготівельниками – до 20 %;
- грозові розряди – 10-20 %.

Пожежі у лісових масивах появляються випадково, а періодичність їх виникнення визначається циклічністю атмосферних процесів, тривалістю пожежо-небезпечних сезонів і повторюваністю посушливих періодів [11]. Лісові пожежі представляють серйозну небезпеку для природно-екологічного середовища, населення та економіки регіону. На території України щорік вони охоплюють до 100 тис. га лісової площі [5], в т.ч. лісових молодняків і так званої нелісової площі (боліт, відгінних пасовищ, сінокосів, чагарників і ін.). Збитки від цих пожеж щорік становлять десятки млн. грн.

Багато науковців вважає [9, 10, 13, 16], що однією з головних причин такого невтішного стану є відсутність повноцінної наукової основи (базової методології) як для якісного, так і для кількісного аналізу причин виникнення лісових пожеж, прогнозування виникнення та наслідків поширення, ефективних технологій їх гасіння. Усе це стримує не лише створення нових високоефективних методів і засобів боротьби з лісовими пожежами, але й ускладнює задачі оперативного визначення оптимальних напрямів використання наявних пожежогасіння рятувальних підрозділів і їхніх технічних засобів пожежогасіння. Немаловажне значення при цьому мають економічні кризи, які спонукають до вирішення більш нагальних проблем, ніж проблем захисту лісів від пожеж.

Як показує попередній досвід [3, 6-12], в боротьбі з лісовими пожежами велике значення має чинник часу. Від моменту виявлення лісової пожежі до прийняття управлінського рішення щодо її гасіння має проходити якомога менше часу (рис. 1). При цьому найважливішим завданням є організація та ефективне використання наявних сил і засобів пожежогасіння [5].



**Рис. 1.** Схема заподіяння збитків залежно від початку гасіння ЛП [5]:

$t_0$  – виникнення ЛП;  $t_2$  – початок гасіння ЛП;  $I^{III}(t)$  – інтенсивність процесу горіння лісових займистих матеріалів;  $I^{IV}(t)$  – інтенсивність надходження і відведення протипожежних сил і засобів

Як показує попередній досвід [3, 6-12], в боротьбі з лісовими пожежами велике значення має чинник часу. Від моменту виявлення лісової пожежі до прийняття управлінського рішення щодо її гасіння має проходити якомога менше часу (рис. 1). При цьому найважливішим завданням є організація та ефективне використання наявних сил і засобів пожежогасіння [5].

При визначенні кількості сил і засобів для гасіння лісових пожеж необхідно враховувати інтенсивність процесу горіння та швидкість поширення лісової пожежі, а також ступінь пожежної небезпеки [9, 12, 16]. На підставі прогнозу розвитку пожежі з врахуванням лісопірологічних характеристик ділянок, що оточують пожежу, з врахуванням можливих опорних ліній (річок, струмків, лощин, доріг і ін.) розробляється план гасіння лісової пожежі, визначаються прийоми і способи зупинки фронту вогню. Керівник гасіння лісової пожежі в усіх випадках має виходити з потреби забезпечення найбільш швидкої локалізації пожежі силами, що знаходяться в його розпорядженні, і засобами, використовуючи, насамперед, природні перешкоди, що є на місцевості, для усунення потенційних шляхів поширення фронту вогню, а також можливості сучасних ефективних засобів і способів пожежогасіння [6-8, 12].

### 1. Моделювання процесу перебігу лісових пожеж

У зв'язку з тим, що експериментальне вивчення механізмів поширення лісових пожеж є дорогим і не завжди вдається проводити навіть часткове фізичне моделювання [11], на сьогодні представляють інтерес теоретичні методи дослідження [3, 6-9]. В даний час існує значна кількість робіт щодо прогнозування шляхів поширення лісових пожеж. Одні з них базуються на фізиці процесу горіння [11], інші – на статистичних даних про реальні пожежі [2, 10]. Успішність використання статистичних моделей обмежена умовами, подібними до тих, при яких відбувалися реальні пожежі. Фізико-математичні ж моделі універсальні, оскільки враховують будь-які природні умови.

Раніше для дослідження процесу перебігу лісових пожеж, здебільшого використовували регресійний аналіз та статистичні методи обробки експериментальних даних [2, 7, 10]. Проте, регресійні моделі, отримані за результатами пасивних експериментів, описують результати тільки певної серії дослідів відповідного експерименту, тобто не дають змоги виявити закономірності впливу окремих чинників на досліджуваний об'єкт. Тому одним з перспективних напрямків дослідження багатостадійних процесів гасіння лісових пожеж є імітаційне моделювання [15, 19], яке базується на фізико-математичних моделях процесу горіння лісових займистих матеріалів (ЛЗМ), оскільки воно дає змогу послідовно відтворювати ті події, які мають відбуватися у фізичній системі протягом певного проміжку часу з врахування штатних і позаштатних ситуацій.

Спроби побудови фізико-математичних моделей процесу поширення лісових пожеж (точніше, їх основних елементів) вже робилися давно [6-12]. При цьому прогнозованою науковою основою, як правило, бралися складні математичні моделі газодинаміки реагуючого середовища [6, 8, 10], що дало змогу моделювати як низові, так і верхові лісові пожежі. Такий підхід уможливив замість розв'язання тривимірних задач (які через їх складність і обсяг масивів даних неможливо реалізувати у реальному часі) поставити і розв'язати осесиметричні двовимірні та одновимірні задачі [11, 12] теорії лісових пожеж. Ці підходи дали змогу достатньо точно моделювати процес поширення фронту вогню низових і верхових лісових пожеж за наявності відомої моделі середовища лісових займистих матеріалів [10]. Водночас такі моделі є не завжди придатними при практичному їх використанні за умови неповно представлених (найчастіше, повної відсутності) характеристик ЛЗМ у реальних лісових масивах.

Для моделювання процесу перебігу лісових пожеж на сьогодні широко використовується схема, яка використовує класичні шаблони проектування MVC (Model-View-Controller<sup>1</sup>) [3, 16], які складаються з трьох рівнів:

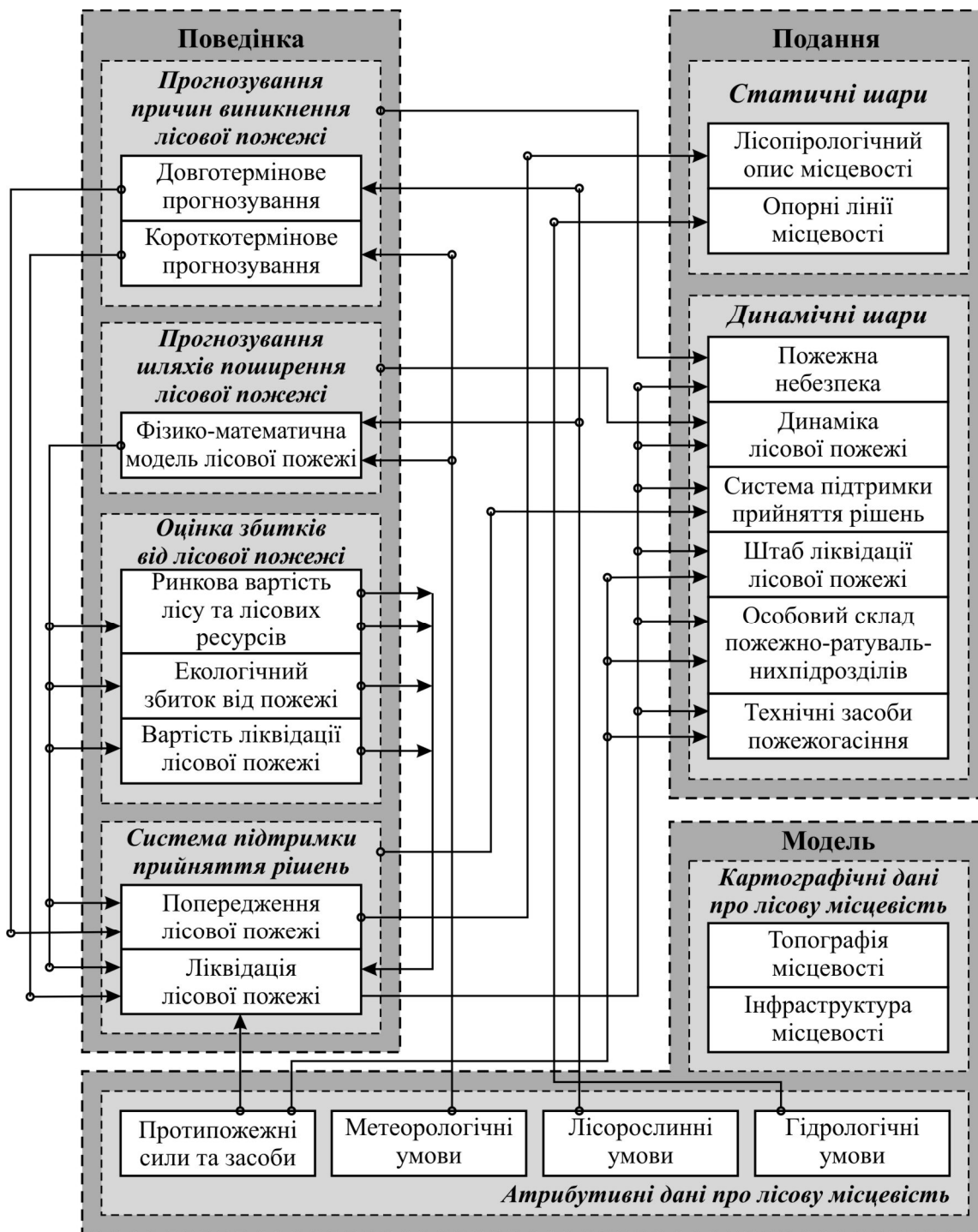
- модель (Model) – надає дані (зазвичай для подання), а також реагує на запити (зазвичай від контролера), змінюючи свій стан;
- подання (View) відповідає за відображення як вхідної, так і отриманої в процесі моделювання інформації (користувацький інтерфейс);
- поведінка (Controller) – інтерпретує дані, введені користувачем, та інформує модель і подання про потребу відповідної реакції (управляюча логіка).

У такій схемі проектування як подання, так і поведінка безпосередньо залежать від моделі, проте модель не залежить ні від подання, ні від поведінки. Це одна з ключових переваг подібного розмежування, яка дає змогу будувати модель об'єкта управління незалежно від візуального його подання, а також створювати декілька різних подань для однієї моделі.

Поведінка, тобто логічна частина шаблону проектування MVC (рівень поведінки) складається з чотирьох основних блоків, кожен з яких направлений на розв'язання однієї з задач: прогнозування причин виникнення ЛП, де здійснюється розрахунок пожежної небезпеки; прогнозування шляхів поширення ЛП; оцінка збитків від ЛП; підтримка прийняття управлінського рішення для попередження та гасіння ЛП (рис. 2). Блок прогнозування причин виникнення лісових пожеж складається з двох підзадач: довготермінове і короткотермінове прогнозування. Результати довготермінового прогнозування причин виникнення лісових пожеж є вхідними даними для розроблення стратегії їх попередження. Результати короткотермінового прогнозування використовуються при побудові оперативних планів гасіння лісових пожеж.

Під рівнем подання у схемі MVC розуміється електронна карта, що надається керівнику гасіння ЛП для візуального ознайомлення з особливостями місцевості. Карта має пошарову структуру і складається з основних (статичних) і додаткових (динамічних) шарів. Статичні шари зазвичай відображають лісопірологічну характеристику місцевості, на якій можуть виникати пожежі. До таких шарів належать ділянки лісу (які відображають шари листяних і хвойних порід, лісового молодняка чи підстилки і т.д.), ґрунти, водні джерела (які показують озера, болота, річки і т.д.), під'їзні шляхи (дороги і стежки, які відображають як у плані, так і з урахуванням набору висоти/спуску) і т.д. Динамічні шари відображають дані, які проходять попереднє оброблення на рівні поведінки. Це такі шари, як картографічна схема розподілу пожежної небезпеки (заздалегідь розраховується в блоці прогнозування причин виникнення лісової пожежі), динаміка лісової пожежі (визначається в блоці прогнозування шляхів поширення лісових пожеж), а також системи підтримки прийняття рішень. Окрім цього, на динамічному шарі візуально відображається штаб гасіння лісової пожежі, особливий склад пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП), а також розміщення технічних засобів пожежогасіння, кількість і склад яких визначаються у відповідному блоці).

<sup>1</sup> Model-View-Controller ("Модель-Подання-Поведінка", "Модель-Подання-Контролер") – схема використання декількох шаблонів проектування, за допомогою яких модель даних додатку, користувацький інтерфейс і взаємодія з користувачем розділені на три окремі компоненти так, що модифікація однієї з компонент надає мінімальну дію на всі інші. Дана схема проектування часто використовується для побудови архітектурного каркасу, коли переходять від теорії подання до реалізації в конкретній наочній області.



**Рис. 2.** Структура системи підтримки прийняття рішень при гасінні лісової пожежі (побудовано на підставі [16])

Модель – одна із трьох складових шаблону проектування MVC (рівень даних), яка описує стан просторових даних на момент виявлення лісової пожежі, складається з двох взаємопов'язаних частин: картографічної та атрибутивної. Картографічні дані описують позиційні характеристики ділянок місцевості (векторних об'єктів – топографію та інфраструктуру). Атрибутивні дані задають характеристики векторних об'єктів – динаміку переміщення протипожежних сил і засобів, а також метеорологічні, лісорослинні та гідрологічні умови.

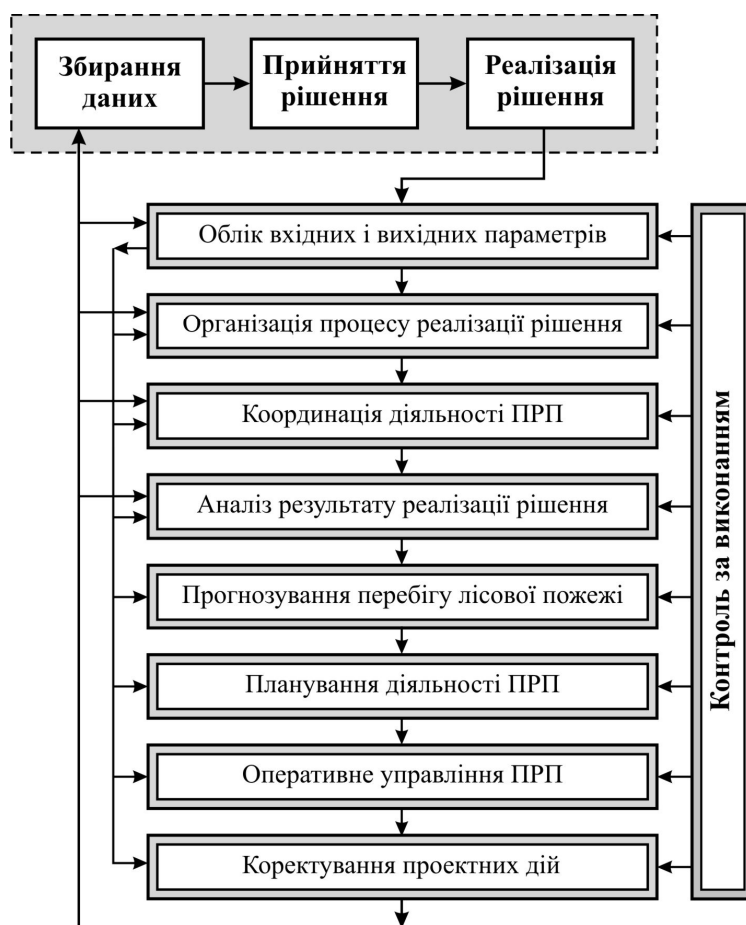
Розглянута вище структура системи підтримки прийняття рішень при гасінні лісових пожеж дає змогу моделювати не тільки процес їх перебігу, але й спрогнозувати ймовірність

їх виникнення, а також провести оцінювання матеріальних, екологічних і соціально-організаційних наслідків від можливих пожеж з метою проведення заходів для їх попередження та ліквідації.

## 2. Методи прийняття управлінських рішень при гасінні лісових пожеж

У загальному випадку управління процесом гасіння лісової пожежі<sup>2</sup> можна розглядати як управління складними організаційними системами [15, 17, 18], який складається з таких етапів: збирання інформації, прийняття (вироблення та вибір) рішення, реалізація прийнятого рішення. Ці етапи циклічно повторюються, при цьому на кожному наступному кроці оцінюється якість процесу управління на попередньому кроці (рис. 3).

Для оцінювання якості процесу управління за критерій, як правило, беруть ступінь досягнення поставленої мети [19]: мінімальну тривалість процесу гасіння ЛП, мінімальні збитки від ЛП (матеріальні, екологічні, соціально-організаційні). Проте можливі й інші критерії, пов'язані з вибором траєкторії руху до досягнення заданої мети [1]. Критерієм ефективності у цьому випадку може бути максимальна швидкодія (швидкість розгортання сил і засобів) або мінімальні витрати ресурсів (кількість сил і засобів) для досягнення мети. Водночас, критерієм ефективності системи управління може виступати точність, з якою вона веде об'єкт/процес за вибраною траєкторією. Для цього з'ясовують, чи не виходять відхилення (які все одно неминучі) за допустимі межі (планувалося задіяти одні сили і засоби, а використано ще й резервні; планувалося зупинити фронт пожежі на одній ділянці, а він поширився ще й на сусідні).



**Рис. 3.** Загальна схема процесу прийняття управлінських рішень керівником гасіння лісової пожежі (побудовано на підставі [17])

<sup>2</sup> [http://buklib.net/component/option,com\\_jbook/task,view/Itemid,99999999/catid,128/id,3709/](http://buklib.net/component/option,com_jbook/task,view/Itemid,99999999/catid,128/id,3709/)

Система управління, яка базується на обробленні та аналізі вхідної та поточної інформації про об'єкт/процес управління, приймає відповідні рішення або подає деякі розпорядження щодо бажаних подальших дій (поточні та перспективні плани щодо процесу гасіння ЛП, настанови, накази, комплекс фізичних керуючих впливів тощо). Прийняття управлінського рішення завжди полягає у виборі деякої альтернативи з множини допустимих варіантів. Цей процес вибору, який охоплює й розроблення допустимих альтернатив, називається процесом прийняття рішень. І хоча в теорії управління [15] не існує універсальних методів для пошуку оптимального (у деякому сенсі) управління, у її рамках здобуто важливі результати для деяких класів детермінованих і стохастичних систем [1, 2, 14, 17, 18].

Процеси прийняття рішень в складних організаційних системах базуються передусім на використанні евристичних методів [17], а вони, водночас, ґрунтуються на застосуванні правил, прийомів, спрощень, які узагальнюють відповідний досвід особи<sup>3</sup>, яка приймає рішення (ОПР). Евристичні міркування – це попередні судження, спрямовані на пошук такого результату розв'язання задачі, який характеризується більшою або меншою його ймовірністю. Окрім цього, здійснювати вибір ефективних рішень допомагає реалізації застосування деяких спеціальних методів [1, 14, 15], таких як системний аналіз, дослідження операцій, мережний аналіз тощо. Ці методи доволі ефективні для вирішення багатьох управлінських і виробничих проблем, в тому числі для проблем гасіння лісових пожеж, передбачуваного перебігу ЛП, точної інформації про шляхи її поширення тощо.

У процесі прийняття управлінського рішення керівником гасіння лісової пожежі можна виокремити декілька етапів [5, 19]. Основу прийняття рішення становить так званий модельний (уявний) експеримент, що передбачає:

- побудову уявної моделі об'єкта/процесу управління – управління процесом гасіння лісової пожежі;
- формулювання ідеалізованих умов, що впливають на модель управління, – наявність достатньої кількості сил і засобів пожежогасіння;
- довільне комбінування цих умов і їх можливих впливів на модель управління та оцінювання подумки відповідних ситуацій і можливих наслідків.

Реалізуючи модельний експеримент, керівник гасіння лісової пожежі має перевірити наявність у робочій пам'яті керівного пристрою (у нашому випадку системи підтримки прийняття рішення) готового "рецепта" (тактичного плану гасіння ЛП) для досягнення поставленої мети (розв'язання відповідної задачі). Якщо такий план-рецепт існує і ситуація, що склалася, подібна до тієї, в якій цей план вже застосовувався, необхідно проаналізувати можливі наслідки від його реалізації, передбачити при цьому можливі відхилення, а також виробити відповідні коригувальні рішення.

Для прийняття управлінських рішень у детермінованих умовах успішно застосовують математичне моделювання [6-8, 12]. Адже за допомогою таких моделей вдається досліджувати реальні лісові пожежі, відшукуючи при цьому їхні характерні особливості та кількісні параметри [12]. Після довготривалих модельних експериментів можна навіть формулювати задачу прогнозування [9], сутність якої полягає у визначенні наслідків, яких можна очікувати в разі реалізації різних варіантів рішень.

У процесі розв'язування задач за допомогою математичного моделювання широко використовують методи прикладної математики [11], зокрема математичне програмування, методи прогнозування, методи математичної статистики, теорію ігор тощо, а також комп'ютерну техніку й відповідні пакети прикладних програм.

Зауважимо, що для багатьох складних організаційних систем, які мають детермінований характер поведінки, побудовано достатньо апробовані моделі, які добре зарекомендували себе на практиці. Зокрема, моделі математичного програмування широко використовуються для обґрунтування прийняття рішень стосовно планування пожежо-охоронних заходів за наявних обмежень на ресурси [7], планування транспортних маршрутів доставки особового складу і технічних засобів [7], мінімізації матеріальних витрат [13] тощо.

<sup>3</sup> У нашому випадку це керівник гасіння лісової пожежі

З огляду на порівняно просту методичку розв'язування детермінованих лінійних задач, науковці, які вирішують проблеми гасіння лісових пожеж, нерідко намагаються зводити реальні задачі до цих умов, не повністю враховуючи або навіть ігноруючи вплив різноманітних стохастичних чинників [7, 12]. Такий підхід може призвести до прийняття неоптимальних, недостатньо ефективних або й зовсім хибних рішень.

Розв'язуючи задачі моделювання процесу перебігу ЛП, в яких передбачається врахування умов ризику, для оцінювання ймовірностей виникнення тих чи інших ситуацій застосовують методи з таких розділів математики, як теорія ймовірності та математична статистика [1, 13, 17, 18]. Якщо показники ймовірності та їхні оцінки визначено з достатньою точністю, то для вироблення управлінського рішення можна скористатися математичним моделюванням [6-8], інакше – використовують імітаційне моделювання [15, 19].

Якщо модель складної організаційної системи (в т.ч. і модель процесу перебігу ЛП) побудовано з використанням ймовірнісних категорій, то задачу управління процесом їх гасіння можна розв'язувати методами математичного програмування – стохастичного [14, 15] чи динамічного [18, 19]. Апарат теорії ігор [19] також придатний для розв'язування задач пожежогасіння, у яких враховуються умови ризику.

За останні роки посилилася тенденція до комплексного осмислення поняття ризику [4]: вивчаються не лише негативні наслідки прояву ризиків, але й позитивні результати, отримані внаслідок перебігу різноманітних подій. Все частіше ризик розглядається як тривимірна модель: *ризик як небезпека* (зазнати втрат), *ризик як невизначеність* (часткова або повна відсутність інформації), *ризик як можливість* (отримати перевагу). Таке розуміння ризику на сьогодні є найповнішим і найточнішим.

Найбільшу складність становить процес розв'язування задач з врахуванням умов невизначеності (наприклад, причин виникнення пожежі, пірологічних характеристик лісового займистого матеріалу, природних засобів зупинки фронту вогню тощо), оскільки для них неможливо зробити достовірний прогноз або оцінити ймовірність впливу різних об'єктивних чинників. До того ж методика розв'язування таких задач практично не вдається звести до традиційного розроблення математичної моделі, як це робиться для задач, у яких враховуються детерміновані умови. Як правило, у таких задачах критерієм оцінювання якості управління слугує ступінь ризику (особовим складом) або рівень втрат (від наслідків пожежі), які, за припущенням, може зазнати організаційна система. За умов невизначеності (як і за умов ризику, коли немає достатньої довіри до знайдених ймовірнісних оцінок різних варіантів пожежогасіння) приймати остаточне рішення може керівник гасіння лісової пожежі, вибираючи найефективніший, як на нього, варіант реалізації.

Велике значення в цьому випадку мають риси характеру керівника, його досвід, знання, інтуїція, навички виконання таких робіт. Найбільш обережні (в основному старшого віку, але мало досвідчені) прагнуть зазвичай уникати будь-якого ризику [1], обираючи той варіант рішення, який забезпечує мінімальні втрати за несприятливих обставин, тобто керуються правилом мінімізації максимального збитку, або принципом прийняття обережних рішень [17]. Керівник-оптиміст, як правило, намагається вибрати такий варіант рішення, який дає найкращий з усіх кращих результатів, незважаючи на те, що за несприятливих умов він може завдати відчутних втрат (збитків).

Принцип прийняття обережних рішень застосовують багато керівників [14, 18], хоча прагнення до максимуму очікуваних результатів іноді буває набагато ефективнішим. Наприклад, керівники гасіння лісових пожеж здебільшого вважають за доцільне мати надлишки запасних пожежно-рятувальних підрозділів, щоб не зазнавати ризику виникнення непередбачуваних обставин перекидання вогню на сусідні ділянки лісу, оминаючи природні перешкоди.

Зауважимо, що нагромадження інформації у процесі вирішення поточних завдань дає змогу зменшити невизначеність результатів, очікуваних від того чи іншого рішення. Окрім цього, реалізація рішення також стає джерелом додаткової інформації. Таким чином, невизначеність зменшується завдяки вмінню керівника не тільки передбачити достовірні наслідки від прийняття певного рішення, а й своєчасно скоригувати його залежно від ступеня досяг-

нення поставленої мети та зміни зовнішніх і внутрішніх умов перебігу ЛП. Тут постає багатокрокова задача прийняття рішень [15, 18], в якій реалізується адаптивне управління складною організаційною системою.

Незважаючи на складність формалізації задач за умов невизначеності, проте і в цьому напрямку здобуто деякі позитивні результати [19]. Вивчено два типи невизначеностей ситуацій, що виникли: невизначеність стану природи їх появи і невизначеність цілеспрямованої протидії. Задачі, що пов'язані з невизначеностями першого і другого типів, досліджують відповідно теорія статистичних рішень та теорія ігор (за умов конфлікту) [15].

Для розв'язування багатокрокових задач за умов невизначеності застосовують динамічне програмування. Прийняття рішень у такому разі представляє задачу управління складною організаційною системою, яку в принципі завжди можна формалізувати. Однак під час розробки математичних моделей реальних об'єктів/процесів управління нерідко постають труднощі у тих випадках, коли не всі чинники можна формалізувати й подати кількісними залежностями. Це зумовлюється стохастичністю досліджуваних процесів, які присутні, насамперед, при перебігу ЛП, а також відсутністю достатньо повної інформації, необхідної для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Отже, керівнику гасіння лісової пожежі часто доводиться приймати рішення за умов ризику і невизначеності. Важливе значення тут має формалізація процесу управління, розроблення відповідних методів прийняття рішень. У теорії управління складними організаційними системами за останні роки розроблені і успішно застосовуються на практиці різноманітні підходи до вирішення цієї проблеми. Одним із таких найпростіших підходів є побудова спрощеної моделі об'єкта (процесу гасіння лісової пожежі) [9], причому спрощення досягається завдяки нехтуванню другорядними чинниками, зверненню до простих загальних правил, пристосуванню до найближчого горизонту планування, зневажанню ризиком, тобто замінам невизначеності можливих ситуацій певними визначеними співвідношеннями.

Іншим підходом до розв'язування задач за умов ризику і невизначеності є застосування евристичних методів [18], що передбачають широке використання досвіду та інтуїції ОПР (керівника гасіння лісової пожежі). Ці методи дають змогу здійснювати пошук управлінського рішення навіть тоді, коли не сформульовано постановку задачі та невідомі способи її розв'язування. Раціональне поєднання алгоритмічних і евристичних методів у процесі розв'язування управлінських задач дає найбільший ефект.

Для вибору управлінських рішень за умов неповної інформації розробляються методи, що ґрунтуються на використанні відомої в теорії ймовірностей теореми Баєса [17]. Ці методи отримали назву "баєсівського підходу", сутність якого полягає в поєднанні досвіду та інтуїції з нагромадженою інформацією для прийняття рішень. Однак для практичного використання цей підхід розроблений ще недостатньо. Окрім цього, для прийняття управлінських рішень у складних умовах ризику, невизначеності та конфліктності з успіхом застосовується системний підхід [15].

### **Висновки:**

1. Встановлено, що однією з основних причин виникнення лісових пожеж є відсутність повноцінної наукової основи як для якісного, так і кількісного їх аналізу, прогнозування появи та наслідків поширення, ефективних технологій їх гасіння. Усе це стримує не лише створення нових високоефективних методів і засобів боротьби з лісовими пожежами, але й значно ускладнює задачі оперативного визначення оптимальних напрямів використання наявних пожежно-рятувальних підрозділів і їхніх технічних засобів пожежогасіння.

2. Проаналізовано сучасні підходи до розроблення системи підтримки прийняття рішень при гасінні лісових пожеж, яка дає змогу моделювати не тільки процес їх перебігу, але й прогнозувати ймовірність їх виникнення, а також провести оцінювання матеріальних, екологічних і соціально-організаційних наслідків від потенційних пожеж з метою проведення заходів щодо їх попередження та ліквідації.

3. Встановлено, що у загальному випадку управління процесом гасіння лісової пожежі можна розглядати як управління складною організаційною системою, яке складається з ета-



пів збирання інформації, прийняття (вироблення та вибір) рішення, реалізації прийнятого рішення. Ці етапи циклічно повторюються, при цьому на кожному наступному кроці оцінюється якість процесу управління на попередньому кроці.

### Список літератури:

1. Балабанов И.Т. Риск-менеджмент / И.Т. Балабанов. – М. : Изд-во "Финансы и статистика", 1996. – 192 с.
2. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – Изд. 2-е, [перераб. и доп.]. – М. : Изд-во "Статистика", 1980. – 263 с.
3. Главацкий Г.Д. Информационная модель и задачи оптимизации процесса борьбы с лесными пожарами / Г.Д. Главацкий, В.М. Груманс // Лесное хозяйство. – 2002. – № 1. – С. 36-41.
4. Гражданская защита. Понятийно-терминологический словарь / под общ. ред. Ю.Л. Воробьева. – М. : Изд-во "Флайст", 2001. – 240 с.
5. Грицюк Ю.І. Структурні компоненти задачі оптимального управління процесом боротьби з лісовими пожежами / Ю.І. Грицюк, І.О. Малець, Т.Є. Рак // Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 8. – С. 171-174. [Електронний ресурс]. – Доступний з [http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem\\_Biol/Nplanu/2010\\_8/171\\_Gry.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem_Biol/Nplanu/2010_8/171_Gry.pdf)
6. Гришин А.М. Математическое моделирование зажигания крон деревьев / А.М. Гришин, В.А. Перминов // Физика горения и взрыва. – 1998. – Т.34. – №4. – С. 13-22.
7. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними / А.М. Гришин. – Новосибирск : Изд-во "Наука". Сиб. отд., 1992. – 408 с.
8. Гришин А.М. Математическое моделирование процесса распространения верховых лесных пожаров / А.М. Гришин, А.Д. Грузин, В.Г. Зверев // Физика горения и взрыва. – 1983. – Т. 269, №4. – С. 822-826.
9. Гришин А.М. Моделирование и прогноз катастроф / А.М. Гришин. – Томск : Изд-во ТГУ, 2003. – Ч.1. 524 с.
10. Гришин А.М. Сравнительный анализ простых моделей сушки слоя ЛГМ, включая данные экспериментов и натуральных наблюдений / А.М. Гришин, Н.В. Барановский // Инженерно-физический журнал. – 2003. – Т.76, № 5. – С. 166-169.
11. Гришин А.М. Физика лесных пожаров / А.М. Гришин. – Томск : Изд-во ТГУ, 1994. – 218 с.
12. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров / Г.А. Доррер. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1979. – 161 с.
13. Качалов Р.М. Управление хозяйственным риском / Р.М. Качалов. – М. : Изд-во "Наука", 2002. – 192 с.
14. Клейнер Г.Б. Предприятие в нестабильной экономической среде: риски, стратегии, безопасность / Г.Б. Клейнер, В.Л. Тамбовцев, Р.М. Качалов / под общ. ред. С.А. Панова. – М. : ОАО Изд-во "Экономика", 1997. – 286 с.
15. Таха Хемди А. Введение в исследование операций : пер. с англ. / Хемди А. Таха. – М. : Изд. дом "Вильямс", 2005. – 912 с.
16. Ходаков В.Е. Архитектура информационной технологии поддержки принятия решений для предупреждения и ликвидации лесных пожаров / В.Е. Ходаков, М.В. Жарикова. [Электронный ресурс]. – Доступный з [http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/pit/2009\\_2/Jarik.htm](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/pit/2009_2/Jarik.htm)
17. Чернова Г.В. Управление рисками / А.А. Кудрявцев, Г.В. Чернова. – М. : ТК "Велби"; "Перспект", 2005. – 160 с.
18. Чернова Г.В. Практика управления рисками на уровне предприятия / Г.В. Чернова. – СПб. : Изд-во "Питер", 2000. – 176 с.
19. Шарапов О.Д. Економічна кібернетика: навч. посібн. / О.Д. Шарапов, В.Д. Дербенцев, Д.Є. Семьонов. – К. : Вид-во КНЕУ, 2004. – 231 с.

## **МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

Проанализированы современные подходы к разработке системы поддержки принятия решений при тушении лесных пожаров, которая дает возможность моделировать не только процесс их протекания, но и прогнозировать вероятность их возникновения, а также вести оценку материальных, экологических и социально-организационных последствий от потенциальных пожаров. Установлено, что в общем случае управление процессом тушения лесного пожара можно рассматривать как управление сложной организационной системой, состоящее из этапов сбора информации, принятия (выработки и выбора) решений, а также реализации принятого решения. Эти этапы циклически повторяются, при этом на каждом следующем шаге оценивается качество процесса управления на предыдущем шаге.

**Ключевые слова:** лесной пожар, математическое и имитационное моделирование, управление процессом тушения лесного пожара, система поддержки принятия решений, методы принятия управленческих решений, критерии управления.

*О.А. Smotr, Yu.I. Grytsyuk*

## **MODELS AND METHODS OF MANAGEMENT OF EXTINGUISHING FOREST FIRES**

The modern methods of exploitation of system which takes decisions in case of extinguishing of forest fires are analyzed. The system models the course of fire, prognosticates of probability of it origins, values financial, ecological, social and organizational damages of possible fires. The management of forest fire extinguishing process can consider as the management of compound organizational system. This system consists of three stages: preparing the information, taking decisions, implementation of the conclusion. These stages are repeated periodically; in addition to that every next stage evaluates the quality of management process of previous stage.

**Key words:** forest fires, mathematical and simulation modeling, management of process of forest fire extinguishing, system of support of acceptance of decisions, methods of acceptance of managerial decisions, criterion of management.

