

Ю.І. ГРИЦЮК¹, О.О. СМОТР²

МЕТОДИ І КРИТЕРІЇ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ПРИ ГАСІННІ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

Проаналізовано математичні методи і відповідні їм критерії прийняття управлінських рішень при гасінні лісових пожеж, за допомогою яких вдається вдосконалити не тільки процес вироблення рішень, але й змодельовати поширення фронту вогню, удосконалити структуру дій при пожежогасінні та покращити їх якість. Встановлено, що через складність процесів гасіння лісових пожеж, через труднощі організації самого процесу пожежогасіння, через неможливість виразити кількісно деякі чинники зовнішнього і внутрішнього середовища та інші непередбачені обставини не завжди вдається повністю формалізувати (побудувати модель) процес прийняття управлінського рішення при гасінні лісових пожеж. Математична ж його формалізація можлива, як правило, тільки для окремих її підсистем чи блоків, або реалізації окремих завдань.

Ключові слова: лісова пожежа, моделювання лісових пожеж, управління процесом гасіння лісової пожежі, системний аналіз, прийняття управлінських рішень, формалізація процесу управління, критерії управління.

¹ **ГРИЦЮК Юрій Іванович** – дійсний член ЛАН України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри управління інформаційною безпекою, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності. Україна, м. Львів. Тел.: +38067-944-11-15. E-mail: gryciuk.yura@gmail.com

² **СМОТР Ольга Олексіївна** – старший викладач, майор служби цивільного захисту, кафедра інформаційних технологій та телекомунікаційних систем, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності. Україна, м. Львів. Тел.: +38067-673-14-28. E-mail: smotr.olga@ukr.net

Вступ. З кожним роком ліси на території України піддаються усе частіше інтенсивному впливу природних і антропогенних дій [9], які часто призводять до різних негативних наслідків. Один з таких наслідків – лісові пожежі [11], тобто стихійне, некероване поширення вогню лісовими масивами. Як правило, виникнення лісових пожеж безпосередньо пов'язане з порушенням людьми правил пожежної безпеки. Значна кількість досліджень [4, 5] свідчить про те, що частка пожеж, викликаних природними джерелами запалювання (наприклад, блискавкою), становить тільки 3 % від їх загальної кількості [3]. Розміри пожеж часто можна спостерігати навіть з космосу.

Захист лісів від пожеж – одна з найважливіших складових пожежної безпеки країни, належить до основних завдань пожежогасіння структурних підрозділів МНС України [5]. Лісові пожежі нищать не тільки кошову деревину, але й згубно впливають на відновлення лісових ресурсів [11]. Внаслідок виникнення пожеж знижуються захисні, водорегулювальні та інші корисні властивості лісу, знищується флора і фауна, завдаються збитки прилеглим будівлям і навіть стратегічним спорудам, а в окремих випадках страждають околиці населених пунктів. Окрім цього, лісова пожежа представляє серйозну небезпеку для здоров'я людей і сільськогосподарських тварин.

Часто для вирішення проблем управління складними організаційними системами, в т.ч. управління процесом гасіння лісових пожеж, застосовують методологію системного аналізу [14], за допомогою якої вдається вдосконалити не тільки процес прийняття управлінських рішень, але й змодельовати його структуру та покращити якість [6-8]. Основна мета моделювання процесу гасіння лісової пожежі – отримати оптимальний варіант дій за умови мінімального використання допустимих ресурсів – якщо модель оптимізаційна. Якщо ж оптимізація задачі неможлива, то потрібно відшукати набір допустимих варіантів реалізації прийнятих рішень з їхніми кількісними та якісними оцінками [1, 5].

Характер моделі пожежогасіння для досягнення поставленої мети зазвичай залежить від еколого-економічної важливості процесу гасіння лісової пожежі [12, 16], точності визначення вхідних даних, наявності часу на розроблення самої моделі. Через складність процесів гасіння лісових пожеж [12], через труднощі організації самого процесу пожежогасіння [5], через неможливість виразити кількісно деякі чинники зовнішнього і внутрішнього середовища [8] та інші непередбачені обставини використання методології системного аналізу не завжди дає змогу повністю формалізувати (побудувати модель) процес прийняття управлінського рішення при гасінні лісових пожеж. Математична ж його формалізація можлива, як правило, тільки для окремих її підсистем чи блоків, або реалізації окремих завдань [15].

Тому *мета цієї роботи* полягає в аналізі деяких методів і критеріїв прийняття управлінських рішень при управлінні процесом гасіння лісових пожеж. Для цього потрібно реалізувати такі основні задачі: вибрати адекватні методи підтримки прийняття рішень; спробувати формалізувати процес прийняття

управлінських рішень; проаналізувати критерії прийняття управлінських рішень в умовах конфлікту.

1. Методи підтримки прийняття рішень при гасінні лісових пожеж

У загальному випадку управління процесом гасіння лісової пожежі можна розглядати як управління складними організаційними системами [13, 14, 18, 19], 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. 1).

Для оцінювання якості процесу управління за критерієм, як правило, беруть ступінь досягнення поставленої мети [3]: 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, с. 78]. Критерієм ефективності у цьому випадку може бути максимальна швидкість (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).

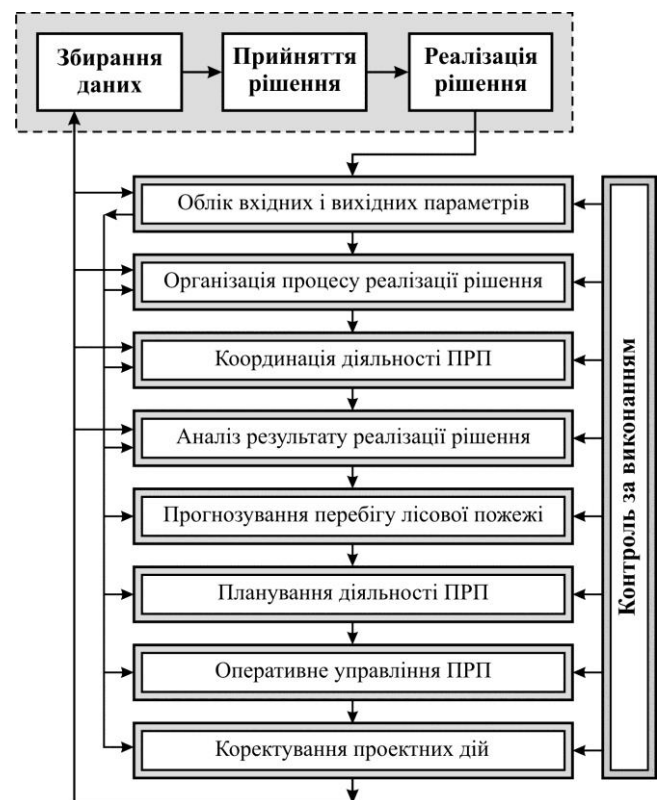


Рис. 1. Загальна схема процесу прийняття управлінських рішень керівником гасіння лісової пожежі (побудовано на підставі [3])

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 [13, 17] не існує універсальних методів для пошуку оптимального (у деякому сенсі) процесу управління, у її рамках здобуто важливі результати для деяких класів детермінованих і стохастичних систем [1, 2, 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 (у нашому випадку це керівник гасіння лісової пожежі), 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 застосування деяких спеціальних методів [1, 2, 13, 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 [3, 14]. 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 прийнятих 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 задач лінійного та нелінійного програмування широко використовуються для обґрунтування прийнятих рішень стосовно планування пожежо-охоронних заходів за наявних обмежень на ресурси [7], планування транспортних маршрутів доставки особового складу і технічних засобів [16], мінімізації матеріальних витрат [13] тощо.

З огляду на порівняно просту методику 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 часто призводить 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 часто використовують математичне моделювання [6-8], інакше – імітаційне моделювання [12, 19].

Якщо модель складної організаційної системи (в т.ч. і модель процесу перебігу ЛП) побудовано з використанням імовірнісних категорій, то задачу управління процесом їх гасіння можна розв'язувати методами математичного програмування – стохастичного чи динамічного [18, 19]. Апарат теорії ігор [15] 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 є найповнішим і найточнішим як на сьогоднішній день.

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 методики 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 понести 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 пожежогасіння.

Велике значення в цьому випадку мають риси характеру керівника, його досвід, знання, інтуїція, навик 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 зазнати відчутних втрат (збитків).

Принцип прийняття обережних рішень застосовують багато керівників [13, 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 того 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 досягнення поставленої мети та зміни зовнішніх і внутрішніх умов перебігу ЛП. Тут постає багатокрокова задача прийняття рішень [17, 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 наявності конфлікту) [17].

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 розроблення 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 розроблено 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, 12], причому спрощення досягається за рахунок нехтування другорядними чинниками, звернення до простих загальних правил, пристосування до найближчого горизонту планування, зневажання наявності ризику, тобто заміни 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 постановки 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 наявності 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 [14].

2. Формалізація процесу прийняття управлінського рішення

Моделювання будь-якої складної організаційної системи [7], в тому числі і процесу гасіння лісової пожежі [5, 10], неможливе без попередньої її формалізації. По суті, формалізація – це перший і дуже важливий етап процесу моделювання, це процес виділення та переведення внутрішньої структури об'єкта управління в певну інформаційну структуру –

стан середовища, критерії ефективності, методи вибору чи оптимізації [15].

Введемо такі позначення вхідних даних для формалізації моделі задачі про прийняття управлінських рішень [18, ст. 39]:

$\tilde{X} = \{x_i, i = \overline{1, m}\}$ – множина альтернатив (управлінських рішень, стратегій управління тощо);

$\tilde{Y} = \{y_j, j = \overline{1, n}\}$ – множина очікуваних результатів;

$\tilde{Z} = \{z_l, l = \overline{1, L}\}$ – множина невизначеностей;

$f_k : \tilde{Y} \rightarrow R, k = \overline{1, K}$ – множина показників якості (критеріїв) очікуваного результату (тут R – множина дійсних чисел);

$\varphi(x) : \tilde{X} \rightarrow \tilde{Y}$ – детермінована функція, яка перетворює множину допустимих альтернатив у множину очікуваних результатів.

Розглядаючи задачу прийняття управлінських рішень в умовах визначеності [11; 18, ст. 39], коли кожному рішенню $x \in \tilde{X}$ відповідає єдиний очікуваний результат $y \in \tilde{Y}$, байдуже, на якій множині $\tilde{X}$ або $\tilde{Y}$ задавати бінарне відношення надання переваги B [18, ст. 27]. Зазвичай, таке відношення задається на множині рішень $\tilde{X}$. При цьому насправді неявно задається і відповідне відношення на множині очікуваних результатів $\tilde{Y}$. Дійсно, нехай існує однозначна залежність $y = \varphi(x)$, яка дає змогу за прийнятим рішенням x визначити єдиний очікуваний результат y . Альтернативи x' і x'' , по суті, порівнюються між собою за деякими значеннями оцінок відповідних очікуваних результатів y' і y'' . Інакше кажучи, маємо $x' > x'' \leftrightarrow y' > y''$, тобто, якщо альтернативі x' надається більша перевага від x'' , то й очікуваному результату y' надаватиметься більша перевага, ніж y'' .

Таким чином, загальну модель прийняття рішення $\langle \tilde{A}, B \rangle$ можна подати у такому формалізованому вигляді: $\langle \tilde{X}, B_{\tilde{X}} \rangle$ або $\langle \tilde{Y}, B_{\tilde{Y}} \rangle$, де $\tilde{A} = \{\tilde{a}_i, i = \overline{1, m}\}$ – множина допустимих альтернатив; B – бінарне відношення надання переваги. Сутність задачі прийняття управлінського рішення від цього не міняється. У такому випадку вважають [18, ст. 28], що відображення $\varphi(x) : \tilde{X} \rightarrow \tilde{Y}$ є гомоморфізмом моделі $\langle \tilde{X}, B_{\tilde{X}} \rangle$ в модель $\langle \tilde{Y}, B_{\tilde{Y}} \rangle$, тобто для всяких альтернатив $x', x'' \in \tilde{X}$ з бінарного відношення $x' B_{\tilde{X}} x''$ виходить таке відношення $y' B_{\tilde{Y}} y''$ чи $\varphi(x') B_{\tilde{Y}} \varphi(x'')$.

При прийнятті рішень за наявності умов невизначеності [17; 18, ст. 60] ситуація значно ускладнюється. Тепер вже ніхто не може гарантувати настання певного очікуваного результату у при виборі рішення x . Тому вважається [18, ст. 27], що система надання переваг пов'язана з деякою оцінкою "корисностей" очікуваного результату y . Вибір управлінського рішення x здійснюється з єдиною метою – отримати "хороший" очікуваний результат y , що належить так званому ядру – множині максимальних елементів з множини очікуваних результатів $\tilde{Y}$ за заданим бінарним відношенням $B_{\tilde{Y}}$. В цьому випадку загальна модель прийняття рішення $\langle \tilde{A}, B \rangle$ має такий формалізований вигляд $\langle \tilde{Y}, B_{\tilde{Y}} \rangle$.

Зокрема, бінарне відношення $B_{\tilde{Y}}$ можна задати за допомогою однокритеріальної [18, ст. 31] або багатокритеріальної [18, ст. 40] системи оцінок очікуваних результатів, тобто критеріальною мовою опису процесу вибору, або будь-яким іншим способом.

Якщо йдеться про прийняття управлінських рішень в умовах ризику [13; 16; 18, ст. 65], то зазвичай припускають, що кожний допустимий альтернативі $x_i \in \tilde{X}$ відповідає свій розподіл ймовірності настання відповідних подій $\tilde{P} = \{p_i = f_i(x_i), i = \overline{1, m}\}$ на множині очікуваних результатів $\tilde{Y}$. Якщо множина альтернатив $\tilde{X}$ і множина результатів $\tilde{Y}$ скінченні, то вважається відомою ймовірність появи всіх результатів, які можна очікувати при виборі даної альтернативи.

Більш детально особливості формалізації процесу прийняття управлінських рішень при гасінні лісових пожеж наведено у роботі [15].

3. Критерії прийняття управлінських рішень в умовах конфлікту

Здебільшого задача прийняття управлінського рішення формулюється у вигляді задачі оптимізації

$$J(x, z) \rightarrow \min_{x \in \tilde{X}}, z \in \tilde{Z}. \quad (1)$$

На відміну від попередніх випадків, коли параметром невизначеності з управляла "природа", то тут ми припускаємо, що параметр z управляється "розумним" суперником, який переслідує власні цілі. Ці цілі також виражаються за допомогою задачі прийняття рішень, яка є аналогічною до (1):

$$I(x, z) \rightarrow \min_{z \in \tilde{Z}}, x \in \tilde{X}. \quad (2)$$

Подібні конфліктні задачі прийняття рішень спочатку були формалізовані як задачі аналізу салонних ігор, що додало всій термінології дещо легковажне звучання. Так, обидві протидіючі сторони називаються *гравцями*, а альтернативи, які вони вибирають (відповідно x і z), – *ходами*, правила вибору рішень – *стратегіями*, значення функціоналів $J()$ і $I()$ – *виграшами*, а вся теорія прийняття рішень з невизначеністю типу "активний партнер" – *теорією ігор*. Іноді задачі прийняття рішень в умовах "природних" невизначеностей, які було розглянуто в розд. 2, називають *іграми проти природи*.

Отже, нехай два суб'єкти A і B , що мають в своєму розпорядженні можливість вибору елементів (ходів) $x \in \tilde{X}$ і $z \in \tilde{Z}$ відповідно, прагнуть до досягнення своїх цілей, представлених у вигляді функціоналів (1) і (2). У нашому випадку гравцем A виступає керівник гасіння лісової пожежі (ЛП), а під гравцем B будемо розуміти саму лісову пожежу. Позаяк вона переслідує певну мету – максимально знищити лісові масиви, то для реалізації цього ЛП виконує певні "ходи".

Розбіжність між функціоналами $I()$ і $J()$ визначає ступінь антагонізму гравців. У окремому випадку може виявитися, що $J() = -I()$ при будь-яких альтернативах x і z ; таку ситуацію, що виникає в грі двох суб'єктів, називають *антагоністичною, строго конкурентною* або *грою з нульовою сумою*: $J() + I() = 0$. Проте чисто антагоністична ситуація є виродженою у відомому сенсі цього поняття. Найбільш типовий

конфлікт, у якому інтереси гравців не співпадають, але й не строго протилежні. Наприклад, якщо гравець Б (у нашому випадку – лісова пожежа) і прагне максимально поширитися лісовими масивами, проте гравець А (керівник гасіння ЛП) максимально протидіє цьому, внаслідок чого настає локалізація пожежі.

Переходячи на загальне, легко уявити собі ситуацію, коли у грі беруть участь не два, а K гравців, які прагнуть максимізувати свої виграші

$$p_k(x_i, i = \overline{1, K}), k = \overline{1, K}.$$

В цьому випадку, наприклад, для першого гравця, що вибирає рішення x_1 , решта рішень x_i складатиме параметр невизначеності z :

$$p_1(x_1, z) \rightarrow \max_{x_1 \in \tilde{X}}, z = (x_i, i = \overline{2, K}).$$

Якщо $\sum_{k=1}^K p_k = 0$, то, як і раніше, йдеться про гру з нульовою сумою, хоча термін "антагоністична гра" тут вже непридатний. Далі ми розглядатимемо тільки ситуації, коли у грі беруть участь дві особи.

Отже, нехай дві сторони А і Б прагнуть до досягнення своїх цілей:

$$A: J(x, z) \rightarrow \min_{x \in \tilde{X}}, z \in \tilde{Z};$$

$$B: I(x, z) \rightarrow \min_{z \in \tilde{Z}}, x \in \tilde{X}.$$

Обидві особи, що приймають рішення (ОПР), або обоє "гравців", мають в своєму розпорядженні можливість вибору альтернативи x і z відповідно. Далі для визначеності вважатимемо, що $\tilde{X} \subset R^m$, $\tilde{Z} \subset R^n$, тобто x і z – числові вектори відповідних розмірностей. Приклад такої постановки задачі відомий під назвою "дилема ув'язненого". Проводячи міркування з боку першого гравця (гравця А), легко встановити, що обидва функціонали $J()$ і $I()$ задаються табл. 1. На перетині i -го рядка і j -го стовпця в табл. 1 знаходиться пара чисел (p, q) , де $p = J(x_i, z_j)$, $q = I(x_i, z_j)$. У цьому прикладі, очевидно, потрібно мінімізувати функціонали $J()$ і $I()$, а не максимізувати.

Табл. 1. Гра двох осіб

Гравець А, $\tilde{X}$	Гравець Б, $\tilde{Z}$	
	$z_1 = H$	$z_2 = \Pi$
$x_1 = H$	(1, 1)	(10, 0)
$x_2 = \Pi$	(0, 10)	(7, 7)

Далі скрізь вважатимемо себе гравцем А (керівник гасіння ЛП) і проведимо міркування з позицій його інтересів. У зв'язку з тим, що результат нашого вибору рішення залежить від вибору гравця Б (перебіг ЛП), необхідно зробити якісь припущення про його можливу поведінку в процесі розв'язання задачі. Правомірність подібних припущень (гіпотез) прямо залежить від характеру інформованості сторін про поведінку іншої сторони.

При прийнятті рішень в умовах ризику (а подібні задачі, як вже зазначалося вище, можуть також належати до теорії ігор – ігор проти природи) ми, по суті, припускали, що сторона Б ("природа") діє не цілеспрямовано. Ми припускали також, що кожен вибір $z = z_j$ (при дискретній множині z) характеризується своєю ймовірністю, тобто ми могли оцінити частоту появи тих або інших ходів z_j і

відповідно до цього будували свою стратегію поведінки. Це одна з можливих гіпотез. При грі з "думаючим" суперником, який переслідує в процесі прийняття своїх рішень цілком певну мету, розумно удаватися до інших гіпотез, які краще відображають сутність такої задачі. По суті справи особливим характером введених тут гіпотез, даний розділ теорії прийняття рішень і виділяється в окрему теорію – теорію ігор.

Розрізнятимемо такі основні гіпотези (випадки).

Гіпотеза 1. Кожен з суб'єктів А і Б не має інформації про вибір, зроблений другою стороною. Додаткові гіпотези про характер поведінки другого гравця відсутні.

В цьому випадку можна поступати аналогічно розв'язанню задачі в умовах повної невизначеності. Це, по суті, точно той самий випадок, і ми можемо скористатися відомим принципом найкращого гарантованого результату. Для суб'єкта А гарантована оцінка буде дорівнювати:

$$J^* = \max_{x \in \tilde{X}} \min_{z \in \tilde{Z}} J(x, z) \Rightarrow x^* = x, z^* = z, \quad (3)$$

а для суб'єкта Б гарантована оцінка становитиме:

$$I^* = \max_{z \in \tilde{Z}} \min_{x \in \tilde{X}} I(x, z) \Rightarrow z^* = z, x^* = x. \quad (4)$$

Розв'язуючи задачу максимізації (3) і (4), ми знаходимо вектори x^* і z^* , що реалізують відповідні гарантовані оцінки.

Приклад 1. Дамо графічну ілюстрацію застосування принципу гарантованого результату. Нехай функція $J(x, z) = x^2 - z^2$, $I(x, z) = -J(x, z)$ і потрібно мінімізувати функціонали $J()$ і $I()$. Внаслідок цього ми маємо антагоністичну гру:

$$J(x, z) = x^2 - z^2 \rightarrow \min_{x \in \tilde{X}}, z \in \tilde{Z};$$

$$I(x, z) = -I(x, z) = x^2 - z^2 \rightarrow \max_{z \in \tilde{Z}}, x \in \tilde{X}.$$

Вважатимемо, що $\tilde{X} = \tilde{Z} \subset R$ є множина всіх дійсних чисел (тут ми використовували ту очевидну обставину, що замість пошуку мінімуму функції $I()$ можна шукати максимум функції $-I() = J()$). Для цього прикладу гарантована оцінка знаходиться з такої умови:

$$J^* = \min_{x \in \tilde{X}} \max_{z \in \tilde{Z}} J(x, z) \Rightarrow x^* = x, z^* = z.$$

$$\text{Позначимо } \varphi(x) = \max_{z \in \tilde{Z}} J(x, z), x \in \tilde{X}. \quad (5)$$

Таким чином, для обчислення одного значення функції $\varphi(x)$ при фіксованому значенні x необхідно розв'язати задачу оптимізації (5). Отримаємо

$$\varphi(x) = \max_{z \in \tilde{Z}} (x^2 - z^2) = x^2,$$

оскільки будь-яке значення $z \neq 0$ призводить до зменшення значення функції $J()$. Тепер знаходимо

$$\max_{x \in \tilde{X}} \varphi(x) = \min_{x \in \tilde{X}} x^2 = 0,$$

що досягається при $x = 0$. Таким чином, ми отримаємо $J^* = 0$ і при цьому $x^* = 0$. Це гарантований очікуваний результат, бо при будь-якому z ми матимемо значення функції $J()$ не гірше (тобто не більше), ніж нуль, тобто при будь-якому значенні z отримаємо

$$J(x^*, z) = J(0, z) = -z^2 \leq J^0 = 0.$$

На рис. 2,а представлено лінії постійного рівня функціонала $J(x, z)$ на площині (x, z) .

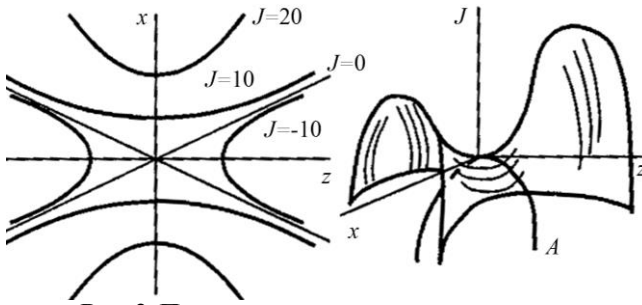


Рис. 2. Принцип гарантованого результату

Пригадаємо, що лінією рівня називається геометричне місце точок на площині, де $J() = C = \text{const}$. Міняючи постійну C , ми отримуватимемо різні лінії рівня. Якщо функція залежить більше, ніж від двох змінних, то потрібно говорити не про лінії рівня, а про *поверхні рівня*. На рис. 2,б зображена залежність $J(x, z)$ в тривимірному просторі, що має характерний вигляд "сідла". Можна вважати, що відповідна поверхня "склеєна" з двох видів парабол:

$$y_1 = x^2; y_2 = -z^2.$$

При виборі гарантованого рішення $x^* = 0$ ми при різних значеннях z завжди знаходимося на параболі A (рис. 2,б), забезпечуючи при цьому виконання нерівності $J() \leq J^* = 0$.

Гіпотеза 2. Припускаємо, що суб'єкт Б слідує принципу максимуму і вибирає z^* з умови (4):

$$I^* = \max_{z \in \tilde{Z}} \min_{x \in \tilde{X}} I(x, z) \Rightarrow z^* = z, x^* = x.$$

Тоді гравець А може вибирати рішення x згідно з таким правилом:

$$J(x, z^*) \rightarrow \max_{x \in \tilde{X}}, \quad (6)$$

де z^* – гарантоване рішення гравця Б. Позначимо результат розв'язання задачі (6) через x^* . При цьому виявляється, що

$$J^* = J(x^*, z^*) \geq J^*, \quad (7)$$

де J^* – гарантована оцінка гравця А, що отримується за принципом максимуму.

На прикладах легко переконатися, що нерівність (7) може бути строгою, і, як наслідок, слідує гіпотезі 2, ми, у разі її правомірності, можемо отримати реальний виграш, вибираючи вирішення x^* , а не x .

Приклад 2. Гра з нульовою сумою задана за допомогою табл. 2, де числа на перетині рядків і стовпців означають наш виграш, тобто програв гравця Б – нашого суперника.

Табл. 2. Гра з нульовою сумою

Гравець, $\tilde{X}$	Гравець, $\tilde{Z}$			
	z_1	z_2	z_3	z_4
x_1	5	-10	9	0
x_2	6	7	8	1
x_3	8	7	15	2
x_4	3	4	-1	4

Наша гарантована стратегія $x^* = x_3$, а гарантована оцінка $J^* = 2$. (Якби ми вибрали інше рішення, відмінне від x_3 , то могли б залежно від дій гравця Б набути і меншого значення виграшу, ніж 2). Аналогічно для гравця Б (він на відміну від нас прагне мінімізувати наш виграш, а тим самим і свій програв) маємо $z^* = z_4$, $I^* = 4$. Дійсно, гравець Б вибирає той стовпець, в якому максимальне число було б

найменшим. У першому стовпці максимальне число дорівнює 8, в другому – 7, в третьому – 15 і в четвертому – 4. Отже, вибираючи $z^* = z_4$, гравець Б ніколи не програє більше чотирьох умовних одиниць.

Якщо вибирати стратегію x^* з умови (6), то отримуємо такий результат розв'язання задачі: $x^* = x_4$, $J(x^*, z^*) = J^* = 4 > J^* = 2$. Таким чином, слідує гіпотезі 2, можна загалом отримати кращий результат порівняно з прийняттям рішення на основі принципу гарантованого результату.

Гіпотеза 3. Тепер можемо допустити, що суб'єкт Б міркує точно так, як і у попередньому випадку, тобто використовує не стратегію z^* , аналогічну стратегії z^* . Тому ми можемо це врахувати і вибрати оптимальний розв'язок вже цієї гіпотези:

$$J(x, z^*) \rightarrow \max_{x \in \tilde{X}} \Rightarrow x^{***}, J^{***}.$$

Гіпотеза 4. Можливий деше інший вид гіпотези: часто за умовами гри ми знаємо перший хід суб'єкта Б (він зобов'язаний повідомити його нам). Тоді поведінка суб'єкта А визначатиметься стратегією у вигляді функції $x = x(z)$.

Цю стратегію можна визначити внаслідок розв'язання задачі оптимізації

$$J(x, z) \rightarrow \max_{x \in \tilde{X}}. \quad (8)$$

Ця умова дає змогу для кожного фіксованого значення z визначити шукане значення x , тобто задати функцію $x(z)$. Для цього випадку ми також можемо визначити гарантований результат

$$\hat{J} = \min_{z \in \tilde{Z}} \max_{x \in \tilde{X}} J(x, z) = \min_{z \in \tilde{Z}} J(x(z), z).$$

Результат розв'язання $\hat{J}$ відрізнятиметься від значення J^* , який було знайденого згідно з гіпотезою 1. Саме тут, в усіх випадках матимемо

$$\hat{J} \geq J^*. \quad (9)$$

Таким чином, прийняття гіпотези 4 знов дає змогу поліпшити очікуваний результат, отриманий за принципом максимумного гарантованого результату.

Доведемо нерівність (9), яку перетворимо спочатку у такий вигляд:

$$\min_{z \in \tilde{Z}} \max_{x \in \tilde{X}} J(x, z) \geq \max_{x \in \tilde{X}} \min_{z \in \tilde{Z}} J(x, z).$$

Для будь-яких фіксованих значень x' і z' , очевидно, справедлива нерівність

$$\varphi_1(z') \geq \varphi_2(z'), \quad (10)$$

де $\varphi_1(z') = \max_{x \in \tilde{X}} J(x, z')$; $\varphi_2(x') = \min_{z \in \tilde{Z}} J(x', z)$

Дійсно, нехай

$$\max_{x \in \tilde{X}} J(x, z') = J(x'', z'); \quad \min_{z \in \tilde{Z}} J(x', z) = J(x', z').$$

Звідси маємо такий ланцюжок нерівностей:

$$\varphi_1(z') = J(x'', z') \geq J(x', z') \geq J(x', z'') = \varphi_2(z').$$

Таким чином, нерівність (10) доведено. Далі, оскільки значення x' і z' можуть бути будь-якими, то їх можна вибрати так:

$$\begin{cases} x' = \arg \max_{x \in \tilde{X}} \varphi_2(x); \\ z' = \arg \min_{z \in \tilde{Z}} \varphi_2(z). \end{cases}$$

Підставляючи ці значення в нерівність (10), приходимо до нерівності (9).

Як приклад розглянемо гру, представлену в табл. 2. Для цієї гри, як було видно вище, значення гарантованої оцінки становитиме

$$J^* = \max_{x \in \tilde{X}} \min_{z \in Z} J(x, z) = 2,$$

а для гарантованого результату маємо

$$\hat{J} = \min_{z \in Z} \max_{x \in \tilde{X}} J(x, z) = 4.$$

Гіпотеза 5. Нехай суб'єкт Б знає наш перший хід. В цьому випадку можна припустити, що він дотримуватиметься стратегії $z = z(x)$, яка будується внаслідок розв'язання оптимізаційної задачі

$$I(x, z) \rightarrow \max_{z \in Z} \Rightarrow z = z(x). \quad (11)$$

Саме так ми поступали при прийнятті гіпотези 4. Прийняття цих допущень, тобто допущення про те, що ми повідомимо свій хід суб'єктові Б, а також допущення про використання суб'єктом Б стратегії $z(x)$, дає змогу нам так впливати на вибір суб'єкта Б, щоб він максимально відповідав нашим цілям. Таким чином, ми можемо вибирати стратегію x з умови

$$J(x, z(x)) \rightarrow \max_{x \in \tilde{X}} \Rightarrow \tilde{x}.$$

Якщо максимум у співвідношенні (11) досягається не в одній точці z , а на деякій множині $M(x)$, то наш гарантований результат $\hat{J}$ визначається з умови:

$$\hat{J} = \max_{x \in \tilde{X}} \min_{z \in M(x)} J(x, z).$$

Загальним для всіх розглянутих випадків є припущення про те, що обидві сторони, що беруть участь в грі, не тільки точно знають свої цілі, але й повністю інформовані про цільові функції "суперника" або партнера по грі. Для реальних конфліктних ситуацій це не завжди виконується. Набагато частіше ми не знаємо точно цілі наших партнерів, які, водночас, мають також обмежену інформацію і про наші наміри. Окрім цього, необхідно враховувати і можливу свідому дезінформацію – "блеф" з боку кожного з гравців. Та й гравців може бути не два, а більше. Формальні моделі вказаних вище, а також інших ігрових ситуацій можуть бути побудовані, але відповідний матеріал виходить за рамки цієї статті.

До цих пір ми розглядали проблему прийняття рішень в іграх двох осіб з позицій одного з гравців. На цю ж проблему можна поглянути з боку деякої третьої "нейтральної" особи. Нас тут цікавитимуть деякі характеристики рішення в цілому з урахуванням цільових функцій всіх гравців. Найбільш важливими характеристиками є по-перше, *властивості ефективності* прийнятих рішень за отримуваними гравцями "виграшами", а по-друге, *властивості стійкості* прийнятих рішень. З позицій третьої особи – "арбітра" – гра двох осіб з цільовими функціями

$$J(x, z) \rightarrow \max_{x \in \tilde{X}}, \quad I(x, z) \rightarrow \max_{z \in Z}, \quad (12)$$

може трактуватися як багатокритеріальна (в цьому випадку – двокритеріальна) задача оптимізації на множині $\tilde{L} = \tilde{X}^T \times \tilde{Z}$. Аргументом при цьому є вектор $\eta \in \tilde{L}$, $\eta = (x, z)$, а задача (12) приймає звичайний вигляд багатокритеріальної задачі оптимізації:

$$J(\eta) \rightarrow \max_{\eta \in \tilde{L}}, \quad I(\eta) \rightarrow \max_{\eta \in \tilde{L}}. \quad (13)$$

При аналізі ефективності результату розв'язання задачі (13) можна знову скористатися вже знайомим принципом Парето – найважливішим з принципів відбору раціональних рішень. Цей принцип дає змогу відкинути всі ті рішення (альтернативи вибору), які

можуть бути замінені іншими, що забезпечують кращі (в цьому випадку – більші) значення цільових функцій всіх гравців одночасно або частини гравців, але без зменшення значень цільових функцій решти суб'єктів, що беруть участь в грі. Рішення, які не можуть бути вказаним чином покращені, ми і називаємо *ефективними* або *Парето-оптимальними*. Такі ефективні рішення володіють тією властивістю, що покращити значення цільової функції одного з гравців можна тільки за рахунок інших суб'єктів. Здавалося б, задача вибору раціональних компромісних рішень і повинна вирішуватися тільки в межах множини Парето (яка в теорії ігор називається також "переговорною множиною"). Адже абсолютно зрозуміло, що будь-яке рішення, що знаходиться поза цією множиною, можна покращити відразу для всіх гравців. Проте реальна ситуація часто виявляється значно складнішою. Основне питання полягає в тому, що насправді вибір аргументу η здійснюється не однією особою, а декількома. Насправді тут ми маємо гру, а не звичайну багатокритеріальну задачу. Найважливішого значення набуває інший принцип прийняття рішень, пов'язаний з поняттям стійкості.

Тут справедливим є таке визначення: точку $\hat{\eta} = (\hat{x}, \hat{z})$ називатимемо *стійким рішенням* або *точкою рівноваги* гри (12), якщо

$$\max_{x \in \tilde{X}} J(x, \hat{z}) = J(\hat{x}, \hat{z}); \quad \max_{z \in Z} I(\hat{x}, z) = I(\hat{x}, \hat{z}).$$

При виборі стійкого рішення η вважають також, що досягнута *ситуація рівноваги*.

З наведеного визначення безпосередньо виходить, що нестійкість якої-небудь ситуації проявляється в тому, що у разі її виникнення їй загрожує розпад, обумовлений можливостями одного з гравців шляхом зміни тільки своєї стратегії поліпшити своє положення за рахунок інших. На цій підставі виник так званий *принцип стійкості Неша* (за іменем автора – американського математика Джона Неша (J.F. Nash)). Він свідчить про те, що вибір раціональної стратегії η повинен проводитися серед множини точок рівноваги. Рівноважні рішення називаються також *оптимальними за Нешем*. Даний принцип відображає дуже важливу властивість колективного рішення. Саме, якщо обидва суб'єкти А і Б змогли домовитися про те, щоб дотримуватися вибору $x = \hat{x}$, $z = \hat{z}$, то той суб'єкт, який порушує домовленість, перш за все і постраждає: властивість стійкості рішення дає відому гарантію проти порушення домовленості.

Необхідно зауважити, що все сказане вище є справедливим і для випадку K гравців, де $K > 2$.

Розглянемо тепер зв'язок двох сформульованих принципів вибору рішень – принципу Парето і принципу Неша. Виникає питання, наскільки хороші стійкі рішення відносно їх ефективності, тобто відносно виграшів, що отримуються гравцями в різновагових точках. Адже кожен гравець може розглядати вибір свого рішення як прийняття рішення в умовах невизначеності (інший гравець виступає як "звичайна" невизначеність або невизначеність середовища). При цьому можна скористатися принципом найкращого гарантованого результату і вибрати відповідну максимінну стратегію, що гарантує йому незалежно від дій іншого гравця деякий мінімальний результат. Чи не отримає він у такому разі більший виграш, ніж в ситуації рівноваги? Тоді всі міркування про рівновагу взагалі не потрібні. Однак, тут справедливим є таке твердження: у

ситуації рівноваги кожен з гравців отримує вигравш не менший, ніж відповідний гарантований максимінний результат.

Доведемо це твердження. Нехай $(\hat{x}, \hat{z})$ – точка рівноваги гри (12) і рішення x^* – максимінна стратегія гравця А. Тоді

$$\hat{J} = \max_{x \in X} \min_{z \in Z} J(x, z) = \min_{z \in Z} J(x^*, z).$$

Звідси, використовуючи визначення стійкого рішення, маємо

$$\hat{J} = J(\hat{x}, \hat{z}) \geq J(x^*, \hat{z}) \geq \min_{z \in Z} J(x^*, z) = \max_{x \in X} \min_{z \in Z} J(x, z) = J^*.$$

Таким чином, доведено, що $\hat{J} \geq J^*$, тобто гарантований результат є більшим від гарантованої оцінки.

Отже, "максимінне заперечення" не проходить і аналіз рівноваги прийнятих рішень має під собою реальну основу. Разом з тим виявляється (і це принципово), що стійке рішення може не належати до ефективних рішень, тобто до множини Парето. А це вже серйозне зауваження (яке нижче буде доведено за допомогою відповідного спростувального прикладу). Внаслідок цього ми маємо явну суперечність між ефективністю прийнятих рішень і їх захищеністю від "несанкціонованих" дій інших гравців. Таким чином, суперечність між оптимальністю за Парето і оптимальністю за Нешем є суперечністю між вигідністю та стійкістю прийнятих рішень.

Тільки у випадках, коли стійкі рішення є одночасно паретівськими, можна ефективно використовувати принцип Неша для розв'язання реальних задач. Інакше ми завжди вибиратимемо між ефективністю і надійністю прийнятих рішень. У цьому, мабуть, полягає одна з важливих першопричин багатьох конфліктів і невдалих рішень в людському суспільстві. Тому одним з важливих напрямів теорії прийняття рішень і системного аналізу є вивчення систем, в яких стійкі точки належать множині Парето.

Приклад 3. Нехай до нерегульованого перехрестя їдуть на високій швидкості під прямим кутом один до одного два автомобілі. У кожного з водіїв є дві стратегії: понизити швидкість до безпечної (безпечна стратегія – стратегія Б); продовжувати їхати на високій швидкості (ризикована стратегія – стратегія Р).

Якщо обидва водії дотримуватимуться стратегії Б, то це приведе до благополучного результату, що оцінюється для кожного водія числом 1. Якщо обидва водії слідуватимуть стратегії Р, то відбувається аварія і втрати кожного відбиваються негативним результатом (-9). При інших комбінаціях (Б, Р) або (Р, Б) результат оцінюється числом 0 для того, що понизив швидкість (за втрату часу) і числом 3 для того, що рухається на високій швидкості (за економію часу). Внаслідок цього маємо гру, представлену в табл. 3.

Табл. 3. Стійкі й нестійкі ситуації

Гравець 1	Гравець 2	
	Б	Р
Б	(1, 1)	(0, 3)
Р	(3, 0)	(-9, -9)

Числа в таблиці представляють відповідні доходи. В цьому випадку ситуації (Б, Б) і (Р, Р) є, очевидно, нестійкими, оскільки кожен з водіїв може отримати кращий результат за рахунок однобічної зміни свого рішення. Наприклад, водій 1 може в ситуації (Б, Б)

отримати кращий для себе очікуваний результат, змінивши стратегію Б на стратегію Р. В цьому випадку він отримає вигравш 3 замість 1. То ж справедливо в ситуації (Б, Б) і для гравця 2. Аналогічно перевіряється й нестійкість ситуації (Р, Р).

Ситуації (Б, Р) і (Р, Б), навпаки, обидві є стійкими, позаяк вони виникли, то ні у одного з гравців немає підстав для однобічної зміни стратегії своєї поведінки.

Висновки

1. Встановлено, що однією з основних причин низької ефективності боротьби з лісовими пожежами є відсутність повноцінної наукової основи як для якісного, так і кількісного їх аналізу, прогнозування появи та наслідків поширення. Усе це стримує не лише створення нових високоефективних методів і засобів боротьби з лісовими пожежами, але й значно утрудняє 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 етапів 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.

ЛІТЕРАТУРА

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 : журнал. – 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
6. Гришин А.М. Математическое моделирование закигания 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 натурных 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. Смотри О.О. Застосування системного аналізу при управлінні процесом гасіння лісових пожеж / О.О. Смотри, Ю.І. Грицюк // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.3. – С. 346-352. [Електронний ресурс]. – Доступний з http://www.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/nvntu/22_3/index.htm

15. Смотри О.О. Формалізація процесу прийняття проектного рішення при гасінні лісових пожеж / О.О. Смотри, Ю.І. Грицюк // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.2. – С. 326-336. [Електронний ресурс]. – Доступний з http://www.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/nvntu/22_2/index.htm

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

17. Чернова Г.В. Управление рисками / А.А. Кудрявцев, Г.В. Чернова. – М. : ТК "Велби"; "Проспект", 2005. – 160 с.

18. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации и принятия решений : учебн. пособ. / И.Г. Черноруцкий. – СПб. : Изд-во "Лань", 2001. – 381 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.

решений, формализация процесса управления, критерии управления.

Yu.I. Grycyuk, O.O. Smotr

METHODS AND CRITERIA OF MANAGERIAL DECISIONS MAKING FOR FOREST FIRES FIGHTIN

Mathematical methods and corresponding criteria of managerial decisions making for forest fires fighting are analysed. It allows to perfect not only to improve the process of decision making but also to model the process of fire front distribution, to improve the structure of firefighting activities and to improve their quality. It is set that because of complicated nature of the processes of forest fires fighting, and difficulties of the organization of process of forest fire fighting, because of impossibility to express in number some factors of external and internal environment and other contingences not always it is succeeded fully to formalize (to build a model) the process of managerial decision making concerning of forest fires fighting. Mostly its mathematical formalization is possible only for its separate subsystems or blocks, or for realization of some tasks.

Keywords: forest fire, modelling of forest fires, management of process of forest fire fighting, system analysis, managerial decision making, management process formalization, management criteria.

Ю.И. Грицюк, О.А. Смотри

МЕТОДЫ И КРИТЕРИИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ТУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Проанализированы математические методы и соответствующие им критерии принятия управленческих решений при тушении лесных пожаров, с помощью которых удастся усовершенствовать не только процесс выработки решений, но и смоделировать распространения фронта огня, усовершенствовать структуру действий при пожаротушении и улучшить их качество. Установлено, что из-за сложности процессов тушения лесных пожаров, из-за трудности организации самого процесса пожаротушения, ввиду невозможности выразить количественно некоторые факторы внешней и внутренней среды и другие непредвиденные обстоятельства не всегда удастся полностью формализовать (построить модель) процесс принятия управленческого решения при тушении лесных пожаров. Математическая же его формализация возможна, как правило, только для отдельных ее подсистем или блоков, или реализации отдельных заданий.

Ключевые слова: лесной пожар, моделирование лесных пожаров, управления процессом тушения лесного пожара, системный анализ, принятие управленческих

