

М.В. Новожилова¹, Р.В. Гудак², О.І. Чуб³

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

²Національний університет цивільного захисту України, Україна

³Харківський національний університет імені Н.В. Каразіна, Україна

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ МЕТОДАМИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Розглядається побудова та реалізація нечіткої моделі процесу ліквідації гідрологічної надзвичайної ситуації природного характеру. Дана задача не може бути повністю сформульована, як класична детермінована або ймовірнісна задача математичного програмування. В якості множини вихідних змінних визначені параметри надзвичайної ситуації, характеристики ураженої зони та ресурсозабезпечення процесу ліквідації. Вихідною змінною є ефективність ліквідації надзвичайної ситуації.

Ключові слова: надзвичайна ситуація природного характеру, нечітка логіка, повіль, ресурсозабезпечення

Постановка проблеми

Антропогенний вплив людини на довкілля, зміна клімату – ці та інші умови можуть призвести до порушення сталого функціонування міста, регіону та країни у випадку реалізації надзвичайної ситуації (НС) природного характеру. Гідрологічні надзвичайні ситуації природного характеру (ПНС), такі як повені, підтоплення, прориви дамб тощо є найбільш розповсюдженими у світі та торкаються великої кількості людей, особливо це стосується соціально і економічно незахищених верств населення міст і населених пунктів.

Гідрологічна ПНС – це складний процес, переважна більшість характеристик якого (місце реалізації, рівень тяжкості, момент настання, час ліквідації та ін.) є випадковими. При цьому для економічно розвинених європейських країн визначальним параметром є постійна зміна характеристик середовища ймовірної гідрологічної ПНС як результату діяльності людини. Наприклад, це є вирубка лісів, іригація ґрунту, зміна руслу річок тощо. Така тенденція унеможливило безпосереднє застосування класичної теорії ризику, що базується на гіпотезі відтворюваності умов реалізації випадкової величини, що досліджується. Тому дана задача є задачею в умовах невизначеності і одним з можливих підходів є декомпозиція вихідної задачі і застосування на першому етапі розв'язання інструментарію нечіткої логіки для визначення прийняттого сценарію ліквідації ПНС та формування гнучких управлінських рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

За останні кілька десятиліть кількість наукових

публікацій щодо різних аспектів попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного характеру значно зросла, що свідчить про неабиякий теоретичний та практичний інтерес до цієї проблеми. Дійсно, такі ПНС стаються все частіше, а їх наслідки вражають. Як показано в [1,2], гідрологічні ПНС складають більше ніж 55% всіх надзвичайних ситуацій природного характеру, при цьому число повеней зросло експоненціально за минуле сторіччя.

Інструментальні засоби ефективного та економічного планування, впровадження та контролю над потоком та зберіганням товарів і матеріалів, а також пов'язаної з нею інформації від місця походження до ураженої зони ПНС розвиваються в рамках самостійної наукової дисципліни, що має назву гуманітарна логістика [3].

Аналіз наукового доробку у галузі гуманітарної логістики проведено у ґрунтовній статті [4]. Автори розглянули більш 110 наукових джерел та провели класифікацію формальних підходів (математичних моделей та методів їх реалізації) щодо планування етапу життєвого циклу ПНС, як ліквідація наслідків. Розглянуто задачі транспортування вантажів у різних постановках (оптимізаційні, імітаційні моделі), задачі евакуації постраждалих з ураженої зони тощо.

В дослідженні [5] розглянуто математичну модель планування розподілу ресурсів щодо ліквідації просторово-розподіленої ПНС за допомогою формалізації інформації вигляду

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

де I_1 – параметри можливої НС;

I_2 – параметри ураженої території;

I_3 – параметри ресурсного забезпечення територіальних підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) України.

Показано, що інформація I є змішаною, різнорідною, певні її кванти припускають кількісне подання, процедура оцінки інших квантів потребує застосування апарату експертних оцінок.

В роботі [6] розглянуто задачу оптимального розміщення тимчасових мобільних центрів допомоги, яка сформульована як задача розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками. Наведено алгоритм розв'язання задачі розміщення ресурсів.

В роботі [7] наголошується, що однією з найважливіших проблем у управлінні процесами попередження та ліквідації наслідків ПНС є невизначеність параметрів надзвичайної ситуації.

В статті [8] наведено аналіз засобів врахування невизначеності параметрів ПНС за допомогою імітаційного моделювання, теорії черг, стохастичного програмування та нечітких множин.

Цей аналіз показує, що застосування засобів нечіткої логіки в прийнятті рішень щодо параметрів надзвичайної ситуації природного характеру є малодослідженою науковою задачею. Серед нечисленних публікацій необхідно виділити роботу [9], яку присвячено розгляду проблеми прийняття рішень щодо управління такою гідрологічною ПНС як паводок як багатокритеріальної задачі з необхідністю урахування поглядів багатьох стейкхолдерів з використанням теорії нечітких множин та нечіткої логіки. Заслугує на увагу також дослідження [10], де розглянуто методіку отримання знань щодо боротьби з паводками у вигляді нечітких, «якщо – тоді» правил, що імітують людиноподібну стратегію дії в міській системі контролю затоплення через штормові події.

Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є створення методики моделювання управління процесом ресурсозабезпечення ліквідації ПНС з урахуванням невизначеності її параметрів для підвищення ефективності етапу ліквідації.

Виклад основного матеріалу

Загалом в множину I_1 (1) – параметри можливої надзвичайної ситуації – входять характеристики типу НС. В даному дослідженні припускається, що тип НС є відомим – це гідрологічна ПНС в умовах гірської місцевості.

Об'єктивна необхідність застосування великих обсягів якісної (або кількісної, що задана неточно, приблизно) інформації при розв'язанні задачі оптимізації обмежених ресурсів ліквідації ПНС

потребує формалізації знань експертів в галузі цивільного захисту в процесі прийняття управлінського рішення.

Визначення 1. Назвемо стратегічною невизначеністю параметрів гідрологічної ПНС, що має бути врахована в період стратегічного планування при побудові прогнозу моделі розвитку можливої ПНС.

Визначення 2. Тактична невизначеність – це неточність інформації про умови реалізації управлінських рішень щодо ліквідації гідрологічної ПНС, ресурсних витратах та ефективності результатів.

Якщо стратегічна невизначеність виникає як невід'ємний елемент передбачення майбутнього щодо характеристик внутрішніх та зовнішніх умов функціонування керованої системи, а також для передбачення результатів реалізації управління, то тактична невизначеність є наслідком неточності методик оцінювання, похибок та несвоєчасності передачі даних, що може бути викликано складними географічними умовами, просторовою розподіленістю ПНС тощо.

В даному дослідженні зосередимось на формалізації другого типу невизначеності в умовах, коли гідрологічна ПНС вже відбулась і необхідно приймати управлінське рішення з оптимізації ресурсів щодо ліквідації наслідків ПНС.

Загалом формальна процедура підтримки прийняття управлінського рішення, що включає етапи урахування невизначеності та параметричної ідентифікації детермінованої оптимізаційної моделі ресурсного забезпечення ліквідації наслідків ПНС наведена на рис.1.

На цьому етапі зберігається тенденція великого обсягу якісної інформації при формулюванні та вирішенні задачі визначення ефективного плану ліквідації наслідків гідрологічної ПНС, що потребує формалізації знань експертів та визначення нечітких даних щодо параметрів ПНС.

Дана задача не може бути повністю сформульована, як класична детермінована або ймовірнісна задача математичного програмування.

Тому є доцільним застосування математичного апарату нечіткої логіки (НЛ).

Математична теорія нечітких множин та нечіткої логіки є узагальненням класичної теорії множин і класичної формальної логіки [11].

Параметри (1) трактуються як лінгвістичні змінні β , що в свою чергу подаються у вигляді кортежу

$$\langle \beta, T, X, G, M \rangle, \quad (2)$$

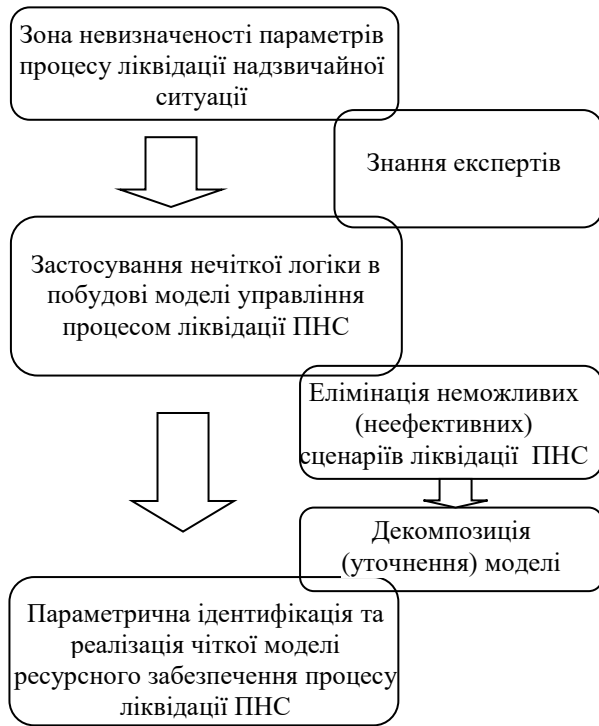


Рис.1 Процес прийняття рішень щодо ліквідації ПНС

де T – базова терм-множина лінгвістичної змінної, тобто множина її значень (термів), кожен з яких представляє собою найменування окремої нечіткої змінної α ; X – область визначення (універсум) нечітких змінних $x \in X$, які входять у визначення лінгвістичної змінної; G – деяка синтаксична процедура, яка описує процес утворення з множини T нових значень для β ; M – семантична процедура, яка дозволяє поставити у відповідність кожному новому значенню β , що отримується за допомогою процедури G , деякий осмислений зміст вихідної змінної за допомогою формування відповідної нечіткої множини.

У свою чергу нечітка змінна α визначається як кортеж $\langle \alpha, X, A \rangle$, де $A = \{ \langle x | \mu_A(x) \rangle \}$ – нечітка множина, що описує можливі значення, які може приймати нечітка змінна α , причому $\mu_A(x) : \mu : X \rightarrow [0,1]$ – є функцією приналежності [11].

Позначимо y – ефективність заходів щодо ліквідації ймовірної гідрологічної ПНС.

Отже, при побудові моделі процесу ліквідації гідрологічної ПНС в умовах гірської місцевості із застосуванням нечіткомножинного підходу і апарату НЛ всі вхідні змінні: множина $\{ \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \}$ параметрів ПНС, а саме характеристики зони затоплення місцевості, що є середовищем розвитку надзвичайної ситуації а також поточного стану властивостей територіальної системи цивільного захисту тощо) і вихідна змінна y – значення

ефективності ліквідації ПНС – представляються як лінгвістичні. Фрагмент опису вхідних лінгвістичних змінних подано в Табл. 1, причому I_{eqv} , I_{mat} , I_{tr} – кількості типів відповідного матеріального забезпечення.

Таблиця 1

Змінні, терм-множини та терми

Позначення	Найменування змінної	Нечіткі змінні α / тип функції приналежності: z-подібна, трикутна, s-подібна	Терм множини
1	2	3	4
Вхідні змінні			
β_1 – важкість (параметри) ПНС			
β_{11}	Площа затоплення [10 – 100] км ²	[10; 20] / z-подібна [15; 45; 60] / трикутна [55; 90] / s-подібна	мала середня велика
β_{12}	Кількість населених пунктів у зоні затоплення [1 – 30]	[5; 10] / z-подібна [5; 15; 20] / трикутна [18; 30] / s-подібна	мала середня значна
β_{13}	Кількість населення у зоні затоплення [100 – 20000]	[100; 1000] / z-.. [800; 3000; 8000] / трикутна [7000; 15000] /	мала середня значна
β_{14}	Кількість населених пунктів, що підлягають евакуації [1 – 15]	[1; 5] / z-подібна [4; 8; 11] / трикутна [10; 15] / s-подібна	мала середня значна
β_{15}	Кількість населення, що підлягає евакуації $[0,1 - 10] \times 10^3$	[0,1; 2] / z-подібна [1,5; 3; 5] / трикутна [4,5; 10] / s-подібна	мала середня значна
β_2 – стан (параметри) ураженої зони			
β_{21}	Стан під'їзних шляхів (мостів) у % до можливого	[20; 60] / z-подібна [40; 80] / s-подібна	непридатний й придатний
β_{22}	Метеорологічні умови	[0; 0,5] / z-подібна [0,51; 1] / s-подібна	складні прості
β_{23}	Температура повітря	[-20; 5] / z-подібна [1; 17; 30] / трикутна [25; 35] / s-подібна	низька прийнятна висока
β_{24}	В межах однієї області	[0; 1] / z-подібна [0,9; ∞] / s-подібна	Ні Так
β_3 – характеристики територіальної системи цивільного захисту (в наявності на момент реалізації ПНС)			
β_{31i}	Кількість аварійно-рятувальної техніки за типами: $[i_{min}^{eqv}; i_{min}^{eqv}]$, $i^{eqv} = 1, \dots, I^{eqv}$	[0; 0,5] / z-подібна [0,51; 0,75; 1] / трикутна [0,7; 1] / s-подібна	низька середня висока
β_{32}	Кількість людського ресурсу [500 – 1000]	[0;1] / z-подібна [1,1;2] / трикутна [2,1;3] / s-подібна	низька середня висока
β_{33i}	Кількість матеріального ресурсу за типами: $[i_{min}^{mat}; i_{min}^{mat}]$, $i^{mat} = 1, \dots, I^{mat}$	[0; 0,5] / z-подібна [0,51; 1] / трикутна [0,51; 1] / s-подібна	низький середній високий

Продовження табл. 1

1	2	3	4
β_{34i}	Забезпечення транспортними засобами за типами: $[i_{\min}^{tr}; i_{\min}^{tr}]$, $i^{tr} = 1, \dots, I^{tr}$	$[0; 0,5]$ / z-подібна $[0,51; 1]$ / трикутна $[0,51; 1]$ / s-подібна	низький середній високий
β_4 – стан (предмети) життєзабезпечення			
β_{41}	Продовольство, [1 – 50] тон	$[1; 8]$ / z-подібна $[6; 15]$ / трикутна $[10; 50]$ / s-подібна	низький середній високий
β_{42}	Питна вода, [2 – 5000] декал	$[0; 5]$ / z-подібна $[4; 10]$ / трикутна $[0,51; 1]$ / s-подібна	низький середній високий
β_{43}	Предмети першої необхідності [2 – 50] тон	$[0; 0,5]$ / z-подібна $[0,51; 1]$ / трикутна $[0,51; 1]$ / s-подібна	низький середній високий
β_{44}	Медикаменти [2 – 5000] кг	$[0; 0,5]$ / z-подібна $[0,51; 1]$ / трикутна $[0,51; 1]$ / s-подібна	низький середній високий
Вихідна змінна			
y	Ефективність операцій ліквідації наслідків гідрологічної ПНС [0 – 100] %	$[10; 20]$ / z-подібна $[15; 25; 40]$ / трикутна $[35; 50; 65]$ / трикутна $[60; 75; 90]$ / трикутна $[80; 95]$ / s-подібна	Дуже низька Низька Середня Висока Дуже висока

Застосовуючи апарат нечіткого логічного висновку, отримуємо апроксимацію залежності y:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N), \quad x_n \in X. \quad (3)$$

Нечіткий логічний висновок проводиться за допомогою апарату НЛІ, що включає побудову нечіткої бази правил та реалізацію операцій над нечіткими множинами за допомогою функції приналежності $\mu_A(x)$ термів вхідних лінгвістичних змінних з подальшою дефазіфікацією результату, наприклад, за методом визначення центру ваги. Результатом є чітке значення вихідної змінної y.

На рис. 2, 3, 4 наведено приклади графічного подання функцій приналежності нечітких змінних – термів вхідних лінгвістичних змінних $\{\alpha_{11}, \alpha_{21}\}$ та вихідної лінгвістичної змінної y.

В якості інформаційного середовища обрано інформаційну систему з відкритим кодом Scilab [12], що є відкритим аналогом Matlab, а саме програмне середовище SciFLT, що реалізує операції з нечіткою логікою.

Певні групи (β_2, β_4) вхідних лінгвістичних змінних, що наведені в Табл. 1, припускають класифікацію в вигляді ієрархічного дерева логічного виведення (рис. 5).

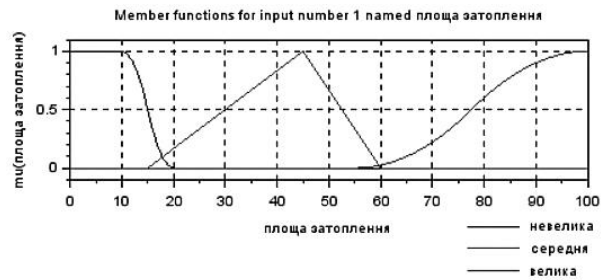


Рис. 2 Графік функції приналежності для термів лінгвістичної змінної α_{11}

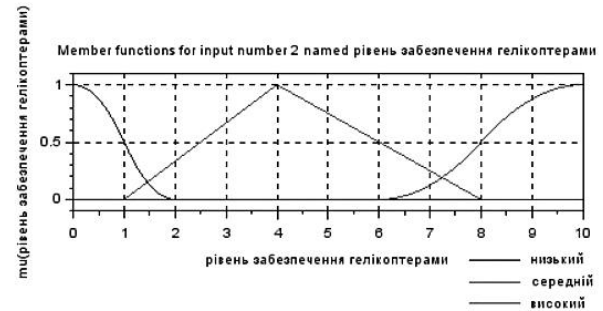


Рис. 3 Графік функції приналежності для термів лінгвістичної змінної α_{21}



Рис. 4 Графік функції приналежності для термів лінгвістичної змінної α_{21}

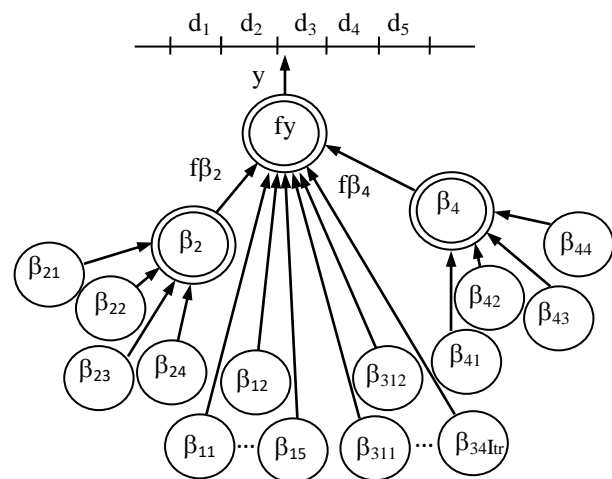


Рис. 5. Ієрархічна класифікація чинників, що впливають на ефективність процесу ліквідації ПНС

Інтерпретація елементів дерева логічного виведення є такою:

- корінь дерева – оцінка ефективності процесу ліквідації наслідків гідрологічної ПНС (y);
- термінальні вершини – чинники впливу, вхідні змінні ($\beta_{11}, \beta_{12}, \dots, \beta_{44}$);

– нетермінальні вершини – згортки чинників впливу (подвійні кола);

– дуги дерева, що виходять з нетермінальних вершин – укрупнені чинники впливу (β_2, β_3).

Згортки $f\beta_2, f\beta_4$ виконуються за допомогою логічного виведення за нечіткими базами знань.

Модель оцінки ефективності операцій ліквідації наслідків гідрологічної ПНС можна подати у вигляді:

$$(\beta_{11}, \dots, \beta_{15}, \beta_2, \beta_{31}, \dots, \beta_4) \rightarrow y \in [d_1, d_2, d_3, d_4, d_5]$$

де операція « \rightarrow » формується за допомогою бази правил нечіткого логічного висновку на підставі наступного алгоритму, $d_j, j=1,2,\dots,5$ – нечіткі терми вихідної лінгвістичної змінної y .

Алгоритм формування бази правил нечіткого логічного висновку.

Етап 1. Генерується множина правил на основі усіх можливих поєднань вхідних і вихідних змінних.

При цьому розроблена база нечітких правил відповідає структурі MISO (Multiple Input – Single Output), в котрій вхідним змінним відповідає одна вихідна змінна.

Етап 2. Кожному правилу присвоюється свій ваговий коефіцієнт, що дозволяє ранжувати правила за ступенем важливості.

При первинному складанні правил значення вагових коефіцієнтів дорівнюють одиниці з можливістю подальшого уточнення.

Скінчена множина правил утворює базу правил нечітких продукцій і загалом має вигляд:

ПРАВИЛО 1: ЯКЩО «Умова 1» ТО "Висновок 1" (F_1),

...

ПРАВИЛО n: ЯКЩО "Умова n" ТО "Висновок n" (F_n).

де (F_n), $n=1,\dots,N$ – вагові коефіцієнти відповідних правил, що приймають значення з інтервалу [0; 1].

В табл. 2 наведено приклад формування правил системи нечіткого логічного висновку для визначення стану ураженої зони.

Таблиця 2

Правила нечіткого логічного висновку для оцінки β_2 стану ураженої зони

№ правила	Якщо β_{21}	I β_{22}	I β_{23}	I β_{24}	ТО β_2
1	непридатний	складні	низька	ні	Дуже важкий
2	непридатний	складні	низька	так	важкий
3	непридатний	складні	низька	ні	середній
...
52	придатний	прості	прийнятна	так	простий
53	придатний	прості	висока	ні	важкий
54	придатний	прості	висока	так	середній

В середовищі SciFLT нечітка база знань формується за допомогою засобу fls Editor (рис. 6).

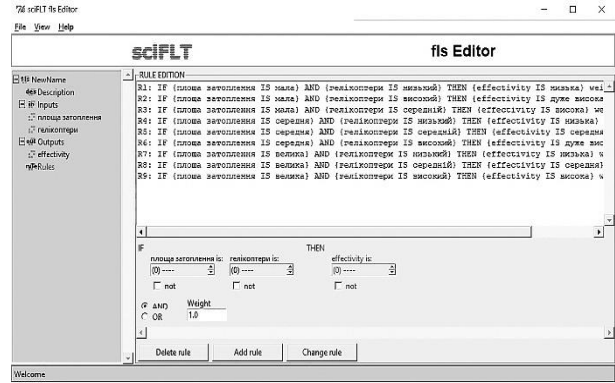


Рис. 6. Правила нечіткої бази знань для оцінки ефективності ліквідації ПНС у середовищі SciFLT

В узагальненому вигляді при побудові моделі за алгоритмом Мамдані взаємозв'язок між множиною вхідних змінних (x_1, x_2, \dots, x_N) та вихідною змінною y у вигляду (3) визначається нечіткою базою знань типу Мамдані за допомогою операцій « \cup » (АБО) та « \cap » (І) наступного формату:

$$\bigcup_{k=1}^{K_j} \left(\bigcap_{n=1}^N (x_n \in \alpha_n^{jk}) \right) \rightarrow (y \in d_j), j=1,2,\dots,5, \quad (4)$$

де α_n^{jk} – нечіткий терм, яким оцінюється змінна x_n в рядку з номером $jk, k=1,2,\dots, K_j, K_j$ – кількість рядків-кон'юнкцій, в яких вихідна змінна y оцінюється нечітким термом $d_j, j=1,2,\dots,5$.

На рис 7 наведено залежність ефективності процесу ліквідації ПНС у відсотках від площі затоплення (β_{11}) та забезпечення парком гелікоптерів (β_{341}).

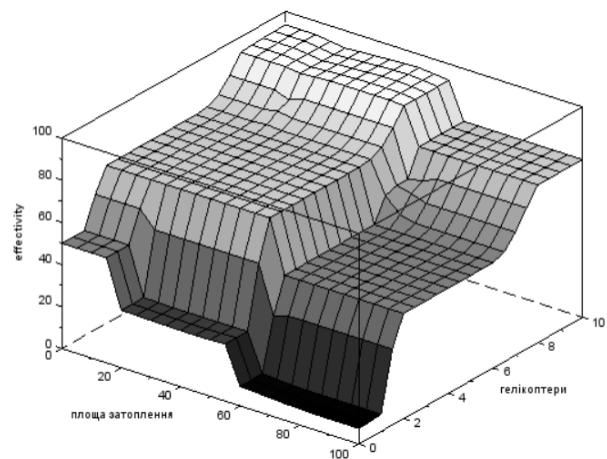


Рис. 7. Графічний вигляд залежності ефективності процесу ліквідації ПНС від змінних β_{11}, β_{341}

Висновки

Запропоновано модель і метод оцінки ефективності процесу ліквідації ПНС на основі нечіткої логіки. Введена множина лінгвістичних змінних, що визначають параметри ПНС, параметри ураженої зони, характеристики технічного арсеналу територіального підрозділу ДСНС, також системи життєзабезпечення. При оцінці ефективності процесу ліквідації ПНС використано алгоритм нечіткого виведення Мамдані. Загальна ефективність у за інших однакових умов різко спадає при збільшенні площі затоплення. Дана модель є базою для подальшої параметричної ідентифікації та реалізації чіткої моделі ресурсного забезпечення процесу ліквідації ПНС.

Література

1. Díaz-Delgado, C., Gaytán Iniestra J. (2014) Flood Risk Assessment in Humanitarian Logistics Process Design. *Journal of Applied Research and Technology*, 12, 5, 976–984.
2. EM-Dat, (2020) The OFDA/CREDT International Disaster Database. Retrived from <http://www.emdat.be/>.
3. Thomas, A. (2020) Gumanitarian logistics: enabling disaster response. Retrived from <http://www.fritzinstitute.org/pdfs/whitepaper/enablingdisasterresponse.pdf>
4. Özdamar, L., Ertem, M.A. (2015) Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics. *European Journal of Operational Research*, 244, 55–65.
5. Чуб, І.А. Моделювання задачі розміщення ресурсів для ліквідації надзвичайної ситуації [Текст] / І.А. Чуб, М.В. Новожилова, Ю.В. Михайловська, Р.В. Гудак // *Science and Education: a New Dimension*. 2019. VII(26). 215. P. 32-35.
6. Чуб, І.А. Розв'язання задачі покриття потреби в ресурсах при ліквідації надзвичайної ситуації [Текст] / І.А. Чуб, М.В. Новожилова, Ю.В. Михайловська, Р.В. Гудак // *Радіоелектроніка і інформатика*. 2019. №1. С. 121-125.
7. Öztaysi B., Behret H., Kabak Ö., Sari I.U., Kahraman C. (2012) Fuzzy Inference Systems for Disaster Response. In *Decision Aid Models for Disaster Management and Emergencies*. Atlantis Press Book, 75-94.
8. Altay, N., Green, I., Walter, G. (2006) OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175, 475–493.
9. Akter, T., Simonovic, S. (2005) Aggregation of Fuzzy views of a large number of stakeholders for multi-objective flood management decision-making. *Journal of environmental management*, 77, 133-43.
10. Chang, Fi-John, Chang, Kai-Yao, Chang, Li-Chiu. (2008). Counterpropagation fuzzy-neural network for city flood control system. *Journal of Hydrology*, 358, 24-34.
11. Ярушкіна, Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем [Текст] / Н.Г. Ярушкіна. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.
12. SciFLT is a Fuzzy Logic Toolbox for Scilab (2020) Retrived from <https://atoms.scilab.org/toolboxes/sciFLT/0.4.7>

References

1. Díaz-Delgado, C., Iniestra, J. G. (2014) Flood Risk Assessment in Humanitarian Logistics Process Design.

2. EM-Dat, (2020) The OFDA/CREDT International Disaster Database. Retrived from <http://www.emdat.be/>.
3. Thomas, A. (2020) Gumanitarian logistics: enabling disaster response. Retrived from <http://www.fritzinstitute.org/pdfs/whitepaper/enablingdisasterresponse.pdf>
4. Özdamar, L., Ertem, M.A. (2015) Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics. *European Journal of Operational Research*, 244, 55–65.
5. Chub, I.A., Novozhylova, M.V., Mikhailovskaya, Y.V., Gudak R.V. (2019) Modeling resource allocation problem for emergency response. *Science and Education: a New Dimension*. VII(26). 215. 32-35.
6. Novozhylova, M.V., Chub, I.A., Mikhaylovskaya, Y.V., Gudak, R.V. (2019) Solving the problem of covering the need in resources in the emergency liquidation. *Radioelektronika i informatika*, 1, 121-125.
7. Öztaysi, B., Behret, H., Kabak, Ö., Sari, I.U., Kahraman, C. (2012) Fuzzy Inference Systems for Disaster Response. In *Decision Aid Models for Disaster Management and Emergencies*. Atlantis Press Book, 75-94.
8. Altay, N., Green, I., Walter, G. (2006) OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175, 475–493.
9. Akter, T., Simonovic, S. (2005) Aggregation of Fuzzy views of a large number of stakeholders for multi-objective flood management decision-making. *Journal of environmental management*, 77, 133-43.
10. Chang, Fi-John, Chang, Kai-Yao, Chang, Li-Chiu. (2008). Counterpropagation fuzzy-neural network for city flood control system. *Journal of Hydrology*, 358, 24-34.
11. Yarushkina, N. G. (2004) Fundamentals of the theory of fuzzy and hybrid systems - М.: Finance and Statistics, 320.
12. SciFLT is a Fuzzy Logic Toolbox for Scilab (2020) Retrived from <https://atoms.scilab.org/toolboxes/sciFLT/0.4.7>

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Л. Литвинов, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна

Автор: НОВОЖИЛОВА Марина Володимирівна
доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова.
E-mail - m.novozhilova04@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9977-7375>

Автор: ГУДАК Роман Васильович
ад'юнкт
Національний університет цивільного захисту
України
E-mail - zakarpattyu@mns.gov.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9960-0054>

Автор: ЧУБ Ольга Ігорівна
кандидат економічних наук, доцент кафедри
теоретичної та прикладної системотехніки
Харківський національний університет імені
В.Н. Каразіна
E-mail - chubolya@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1216-856X>

EVALUATION OF NATURAL DISASTER RESPONSE EFFECTIVENESS WITH FUZZY LOGIC METHODS

M. Novozhylova¹, R. Gudak¹, O. Chub³

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

²National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

³V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

The model and method of efficiency estimation for disaster relief process under hydrological emergency of natural character on the basis of fuzzy logic have been offered.

It is determined that the implementation of a natural emergency can lead to disruption of the sustainable functioning of the city, region and country as a whole against the background of an constantly increasing human impact on the environment, climate change and other conditions. Natural hydrological emergencies, such as floods, levees, etc., are the most widespread in the world and affect a large number of people, especially the socially and economically disadvantaged part of urban population.

An analysis of previous research in this field has been carried out and it is determined that the problem under consideration cannot be fully formulated as a classical deterministic or probabilistic mathematical programming problem. This problem is characterized by significant uncertainty about the problem input variables. Two classes of such uncertainty are identified with the sources of origin - strategic and tactical.

The paper presents a formalized procedure for supporting managerial decision-making, which includes the steps of uncertainty consideration and parametric identification of a deterministic optimization model of resource support for the elimination of natural hydrological emergencies.

Linguistic variables were introduced to determine the parameters of an emergency, the parameters of the affected area, the characteristics of the technical arsenal of the territorial unit of the State Emergency Service of Ukraine, as well as the life support system. The Mamdani fuzzy inference algorithm was used to evaluate the effectiveness of disaster relief process. The software implementation of this model is executed in the open source information system Scilab, namely in SciFLT subsystem.

This model is the basis for further parametric identification and implementation of a deterministic model of resource support for disaster relief process that allows forming flexible management decisions.

Keywords: *natural emergency, fuzzy logic, flood, resourcing*