

Круссир Галина Всеволодовна, доктор технических наук, профессор, кафедра экологии пищевых продуктов и производств, Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина,
E-mail: krussir_65@mail.ru

Соколова Ирина Федоровна, аспирант, кафедра экологии пищевых продуктов и производств, Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина,
E-mail: kukuler4ik@mail.ru

УДК 338.244:504.453

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ НЕБЕЗПЕКИ ЗСУВІВ НА ДІЛЯНКАХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ В УМОВАХ НЕЧІТКОЇ ІНФОРМАЦІЇ

© Л. І. Нефьодов, Н. Ю. Філь

Проаналізовані фактори небезпеки зсувів на ділянках автомобільних доріг. Розглянуто основні етапи методу нечіткого виводу. Розроблено метод оцінки небезпеки зсувів на ділянках автомобільних доріг в умовах нечіткої інформації. Наведено приклад оцінки факторів небезпеки зсувів на ділянках автомобільних доріг в умовах нечіткої інформації у середовищі Matlab.

Ключові слова: зсуви, небезпека, дорога, метод, нечіткість, фазифікація, дефазифікація, Мамдані.

Factors of landslide hazard on areas of highways have been analyzed. The main steps of fuzzy inference method are described. The method of landslide hazard assessment on areas of highways in terms of fuzzy information has been developed. The example of landslide hazard assessment on areas of highways in terms of fuzzy information in Matlab has been provided.

Keywords: landslides, hazard, road, method, fuzzy, fuzzification, defuzzification Mamdani.

1. Вступ

Незбалансована та безсистемна господарська діяльність створила реальні передумови для активного розвитку природних екзогенних геологічних процесів (ЕГП), серед яких найбільш руйнівними є зсуви, що розвинені сумісно з абразією на узбережжя морів та лиманів, перебудовою берегів водосховищ, селів у горах та передгір'ях, ерозією по берегах річок та схилах балок [1].

Залучення територій з розвитком природних ЕГП до сфери господарської діяльності призводить до неминучих змін навколишнього середовища, що супроводжуються техногенним посиленням природного перебігу процесів, особливо в місцях розташування потенційно небезпечних об'єктів. Безпека життєдіяльності населення та численних господарських об'єктів у районах розвитку небезпечних природних та природно-техногенних процесів є однією з основних соціально-екологічних проблем сьогодення [2, 3].

Упродовж 2012-13 років до числа найбільш небезпечних ЕГП за збитками завданими господарським об'єктам, належать зсуви, підтоплення, карст, абразія, переробка берегів водосховищ та осідання земної поверхні над гірничими виробками [4, 5].

Господарська діяльність, відсутність належних інженерних та екологічних заходів щодо освоєння територій спричиняє активне поширення зсувів на території населених пунктів, що створює

загрозу безпеці життєдіяльності населення, інфраструктурі та території в цілому.

Кількість зсувів складає близько 30 тисяч і постійно змінюється за рахунок ліквідації (зрізання, зчищення), злиття чи формування нових зсувів під впливом природних і техногенних факторів [4, 5].

Найбільшого розвитку зсувні процеси набули на узбережжі Азовського моря, на схилах водосховищ Дніпровського каскаду та річкових долин в Львівській, Івано-Франківській, Закарпатській, Одеській, Київській та Черкаській областях [1, 4].

У долинах великих річок та на їх схилах розташовані міста, які зазнають збитків від дії зсувів, а саме Київ, Дніпродзержинськ, Дніпропетровськ, Запоріжжя, Чернігів, Полтава, Чернівці та інші. Активна господарська діяльність викликала поширення зсувів у більш ніж 200 містах і селищах міського типу [4, 5].

Площа поширення ділянок з розвитком зсувів у межах міських територій складає близько 45 км². Активізація зсувів досить часто пов'язана з розвитком супутніх процесів – ерозійного та абразійного, які підсилюють розвиток основного процесу [4, 5]. Серед домінуючих природних чинників активізації слід виділити:

– гідрологічні (підняття рівнів та зміна витрат води в поверхневих водотоках, рівні води та хвильовий режим морів, озер, інших водойм та абразійна дія поверхневих вод та відповідний підмив та розлив язикових частин зсувів);

- метеорологічні (атмосферні опади, температура тощо);
- гідрогеологічні (рівні, хімічний склад, умови живлення та дренажу підземних вод);
- сейсмічні (землетруси);
- техногенні чинники.

Суттєве зростання кількості зсувів, у тому числі активних, зафіксована на півдні в Одеській, Миколаївській областях, а також на заході України – в Закарпатській, Чернівецькій та Львівській областях [4, 5].

У більшості випадків зсуви поширені там, де схили мають глинисті ґрунти або де в товщі порід зустрічаються шари, прошарки, зони глинистих порід або інші різниці порід, що утворюють поверхні та зони ослаблення (шари вугілля, сажі, поверхні та зони тріщин, тектонічних порушень та ін.) або, нарешті, там, де на схилах є значні накопичення пухких утворень [1, 4].

2. Постановка проблеми

Оцінка зсувної небезпеки виконується фахівцями на основі обґрунтованих суджень і включає в себе встановлення механізму, розмірів, глибини зміщення, частоти, факторів, причин виникнення зрушень, прямих та непрямих наслідків, кількості потенційних зсувів, моделювання різних типів прояву несприятливих техноприродних процесів т. п. При цьому завжди залишаються невизначеності. Однак розуміння природи та механізму явища, масштабу потенційних наслідків забезпечують основу для подальшої оцінки зсувного ризику та підтримки роботи досліджуваної природно-технічної системи на безпечному рівні [6].

Метою роботи є підвищення ефективності адекватності оцінки небезпеки зсувів на автомобільних дорогах для проектів моніторингу за рахунок розробки методу оцінки небезпеки зсувів в умовах нечіткої інформації.

3. Літературний огляд

Зсувне зміщення є наслідком комплексного впливу природних і техногенних факторів і може підготовлятися роками або відбуватися в процесі початкового освоєння схилу. У механіці ґрунтів немає «ідеальних» методів оцінки стійкості, в силу наявності цілого ряду припущень і невизначеностей. Говорячи словами К. Терцаги: «... У багатьох випадках виявляється неможливим оцінити ступінь стійкості схилу в зсувному відношенні раніше, ніж відбудеться сам зсув» [7].

Обмеженості детермінованого підходу можуть бути компенсовані ймовірнісними моделям. У цьому зв'язку уточнення, що вводяться в розрахункові схеми (облік просторової мінливості властивостей ґрунтів, використання ймовірнісних підходів і т.п.), можуть виявитися вельми значущими, особливо при зведенні протяжних споруд. Значну роль відіграє оцінка зсувної небезпеки досліджуваної ділянки.

Згідно термінології, запропонованої А. Л. Рагозіним [8] та іншими вченими-геотехніками [9], небезпека означає процес, властивість або стан

природи (наприклад, об'ємів літосфери), суспільства або техніки, що становлять загрозу для життя чи добробуту людей, об'єктів господарства, навколишньому середовищу. Визначається ймовірністю прояву природного або техноприродного процесу в даному місці, в заданий час.

Зсувна небезпека є окремим випадком геологічної небезпеки й обумовлюється силою тяжіння (енергією рельєфу). Зсувне явище стає небезпечним тоді, коли воно здатне привести до несприятливих наслідків, пов'язаних з життєдіяльністю людей. Небезпека може бути існуючою або потенційною і описуватися термінами геометрії, механіки та іншими показниками [10].

Основними параметрами для оцінки стану природного середовища є [11]: інженерно-геологічна група порід; рельєф (клас рельєфу); гідрогеологічні умови; сучасні геологічні процеси (інтенсивність прояву).

За інтегральною шкалою, залежно від сумарного оцінного бала, визначається категорія складності інженерно-геологічних умов ділянки досліджень. В даний час основні фактори формування зсувів умовно поділяють на дві групи [6, 12]:

- фактори-умови, що відображають стан геологічного середовища (морфологія, літологія, положення рівнів ґрунтових вод і т. п.);

- фактори-процеси, що змінюють стан схилів (ерозія, вивітрювання, техногенез і т. п.).

На різних етапах освоєння гірської території оцінка та вибір заходів щодо управління зсувним ризиком вимагають виявлення та обліку багатьох факторів, розгляду різних сценаріїв розвитку подій. До складу робіт входить аналіз архівних матеріалів та поточних результатів спостережень, дослідження фізико-механічних властивостей ґрунтів, складання моделей зсувних тіл, вибір розрахункових схем, оцінка ймовірності та частоти розвитку зсувів, можливого збитку, аналіз наслідків.

Залежно від наявної в розпорядженні інформації, виконують якісну, напівкількісну або кількісну оцінку ризику. Основну трудність в будь-якому методі становить наявність невизначеностей (просторової мінливості властивостей ґрунтів, суб'єктивного характеру інтерпретації результатів, інтенсивності та часового фактору впливу приводу, що сприяє активізації зсувного зміщення, та інших).

Якісні та напівкількісні методи можуть застосовуватися як самостійно, так і в складі комплексу робіт. Основна їх перевага полягає в можливості оцінювати ризик в складних і маловивчених техноприродних умовах, коли самі умови або економічна доцільність не дозволяють виконати повний обсяг інженерно-геологічних вишукувань з кількісною оцінкою властивостей ґрунтів і параметрів стійкості. Основні висновки робляться за якісними критеріями оцінки інженерно-геологічних умов, технологічності та найбільшої безпеки.

Результати більшості методів якісної оцінки ризику включають в себе судження кваліфікованих фахівців – геотехніків про те, чи представляє дана зсувна небезпека відчутну загрозу для життя (життєдіяльності) і чи потрібно негайне виконання заходів щодо скорочення або запобігання ризику? Якісні результати включають в себе описову термінологію.

Якісні та напівкількісні методи вимагають розвитку науково-дослідної бази і, як наслідок, підвищення кваліфікації фахівців.

Кількісна оцінка ризику включає в себе розгляд факторів зсувної небезпеки, які виражені в числових величинах, з урахуванням можливих наслідків.

У більшості випадків не обмежуються одноразовою оцінкою ризику. На складних ділянках необхідно проводити моніторинг з метою своєчасного вжиття заходів. З цією метою розглядаються методи аналізу техноприродного ризику, що вводяться в систему моніторингу та дозволяють отримувати інтегральну оцінку безпеки об'єктів [13].

4. Основні етапи методу нечіткого виводу

При вирішенні таких завдань багатьом вхідним даними неможливо зіставити кількісне значення, часто вони визначаються якісними ознаками такими, як «багато», «сильне» і т.п. Тому моделі, побудовані на числових оцінках нечітких вхідних даних, є неточними. Вхідні дані також залежать від суб'єктивної оцінки експертів і містять в собі невизначеність і неоднозначність, які важливо враховувати в процесі прийняття рішення.

Основні етапи узагальненого методу нечіткого виводу (рис. 1): формування бази правил системи нечіткого виводу; фазифікація вхідних змінних; агрегування підумови в нечітких правилах продукції; активізація підвисновків нечітких правил продукції; акумулювання висновків нечітких правил продукції; дефазифікація вихідних змінних [14].



Рис. 1. Основні етапи узагальненого методу нечіткого виводу

У рамках постановки завдання визначаються вхідні та вихідні змінні об'єкта управління, на основі вхідних змінних вибираються управляючі змінні. Виділені величини представляються у вигляді лінгвістичних змінних.

Для кожної з лінгвістичних змінних формуються терм-множини у вигляді нечітких змінних. Якщо лінгвістична змінна має просту структуру, то для неї можуть бути обрані терми у вигляді нечітких змінних з одновимірної функцією належності. Інакше рекомендується використовувати нечіткі змінні з багатовимірними функціями належності. До формування назв термів та їх функцій належності можуть бути залучені експерти. Крім цього, для визначення числа термів та виду їх функцій належності можуть бути використані методи нечіткого кластерного аналізу.

Знання можна формалізувати у вигляді системи нечітких логічних висловлювань. Кожне висловлювання можна оцінити нечітким ступенем істинності. Наприклад, висловлювання «швидкість машини висока» може бути істинне на 80 %, а висловлювання «завтра буде морозна погода» - на 100 %. Кожне таке висловлювання можна описати за допомогою відношень множин лінгвістичних нечітких змінних [15].

Лінгвістична змінна – це кортеж наступних значень $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, де:

β – ім'я змінної (наприклад, «швидкість автомобіля»); T – базова множина значень її термів – значень, кожне з яких надається за допомогою нечіткої множини (наприклад, «мала», «середня», «висока», «дуже висока»); X – множина – носій можливих конкретних значень змінної для всіх термів (наприклад, $X = [0, 200]$ км/год.); G – деяка синтетична процедура генерації нових термів з множини T (наприклад, «дуже мала»); M – семантична процедура надання терму певної нечіткої змінної вигляду $\langle X, \mu_i(X) \rangle$, $\mu_i(X)$ – функція належності i -того терму з множини T .

Побудова системи нечіткого виводу (СНВ), яка оснований на використанні алгоритму Мамдані, має наступні етапи [14, 15].

Перший етап. Проектування бази правил СНВ. Кожне правило представляється у вигляді:

Якщо <умова> тоді <заключення> [міра вірності правила]

Для алгоритму Мамдані <умова> і <заключення> виглядають як логічні зв'язки наступних записів: <нечітка змінна> = <значення>

Другий етап. Введення цих правил в СНВ
Використання СНВ для обробки вхідної інформації у вигляді конкретних значень вхідних (нечітких) змінних. Цей етап, в свою чергу, розкладається на наступні складові:

– ведення значень вхідних змінних. Тобто, деякий фактів, які вважаються істинні на 100 %;

– фазифікація вхідних змінних – встановлення відповідності між конкретним значенням вхідних

змінних і значенням її терму, разом з функцією належності;

– агрегування складних умов, які стоять в правилах після ключового слова ЯКЩО, тобто визначення ступеня істинності всіх умов в усіх правилах, якщо умови надаються за допомогою складних логічних виразів. Правило активується, якщо істинність його умови більша за нуль. В базах знань процедура агрегування умов в правилах виконується за допомогою нечітких логічних операцій – нечіткої кон'юнкції, нечіткої диз'юнкції, нечіткої відмови.

Третій етап. Активізація підвисновків – процес визначення ступеня істинності (належності до відповідних термів) змінних, що стоять в висновках активних правил, за формулою:

$$c_k = b_k F_k,$$

де c_k – ступінь істинності висновку правила; k , b_k – ступінь істинності його умови; F_k – ступінь істинності самого правила (ваговий коефіцієнт k -правила).

Після визначення вектору $C = (c_1, \dots, c_q)$ визначаються функції належності для кожного із підвисновків для кожної вихідної лінгвістичної змінної. Припустимо, що відповідний терм вихідної лінгвістичної змінної визначається функцією належності $\mu(y)$. Тоді після процедури активації отримуємо поновлену функцію належності відповідного терму $\mu'(y)$ за одним із методів нечіткої композиції:

- min-активізація: $\mu'(y) = \min\{c_i, \mu(y)\}$;
- prod-активізація: $\mu'(y) = c_i \mu(y)$;
- average-активізація: $\mu'(y) = 0.5(c_i + \mu(y))$.

Відзначимо, що різні правила підвисновків можуть містити однакові терми лінгвістичних змінних. У цьому випадку для кожного терму ми визначаємо множину різних функцій належності, які обчислюються за одним із правил нечіткої композиції по кожному правилу продукції.

Четвертий етап. Акумуляція висновків, тобто, визначення значення функцій належності для термів всіх вихідних змінних. Якщо для одного терму визначена множина функцій належності $\mu_1'(y), \dots, \mu_p'$, то акумуляція виконується за одним із правил об'єднання нечітких множин:

- об'єднання: $\mu'(y) = \max\{\mu_1'(y), \mu_2'(y)\}$;

- алгебраїчне об'єднання:

$$\mu'(y) = \mu_1'(y) + \mu_2'(y) - \mu_1'(y)\mu_2'(y);$$

- граничне об'єднання:

$$\mu'(y) = \max\{\mu_1'(y) + \mu_2'(y) - 1, 0\};$$

- операція λ -суми:

$$\mu'(y) = \lambda \mu_1'(y) + (1 - \lambda) \mu_2'(y), \quad \lambda \in [0, 1].$$

- драстичне об'єднання:

$$\mu'(y) = \begin{cases} \mu_1'(y), & \text{if } \mu_2'(y) = 0, \\ \mu_2'(y), & \text{if } \mu_1'(y) = 0, \\ 1, & \text{else.} \end{cases}$$

П'ятий етап. Дефазифікація в системах нечіткого висновку – це процес переходу від функції належності вихідних лінгвістичних змінних до їхнього чіткого (числового) значення. Мета дефазифікації полягає в тому, щоб, використовуючи результати акумуляції всіх вихідних лінгвістичних змінних, отримати кількісне значення вихідної змінної. Для дефазифікації в нашому дослідженні був обраний метод центру тяжіння. Центр тяжіння для неперервних та дискретних нечітких множин розраховується за формулами:

$$z = \frac{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} y \mu'(y) dy}{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \mu'(y) dy}, \quad (1)$$

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \mu'(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu'(y_i)}. \quad (2)$$

Таким чином, використання методу нечіткої логіки теорії нечітких множин має такі переваги: спрощує розрахунки; дозволяє обробляти значні масиви вхідних змінних; дає можливість шляхом аналізу кількісних і якісних факторів небезпеки зсувів визначити фактичний рівень небезпеки зсувів на ділянках автомобільних доріг.

5. Апробація результатів дослідження

Аналіз літератури дозволив виділити шістнадцять чинників, що можуть буди визначені у процесі обстеження ділянок автомобільних доріг та характеризують зсувну небезпеку та ризик [6]:

- стан полотна;
- тріщини відриву на узбіччі або на прилеглому укосі;
- висота відкосу;
- інженерно-геологічна група порід;
- крутизна відкосу;
- протяжність вздовж дороги;
- інтенсивність прояву процесів ерозії;
- інтенсивність прояву вивітрювання;
- орієнтовна потужність зсуву;
- діяльність поверхневих і підземних вод;
- задернованість, залісненість відкосу;
- прояви несприятливих процесів на протилежному схилі;
- візуальний стан споруд інженерного захисту;
- характер об'єктів;
- техногенний фактор;
- можливі наслідки зсуву.

Для кожної лінгвістичної змінної визначено базова терм-множина, що включає в себе нечіткі множини, що можна позначити: низький, знижений, середній, підвищений, високий.

З метою зниження невизначеності при розмежуванні рівнів параметрів слід побудувати функції належності всіх нечітких термів як вхідних, так і вихідних змінних, щоб отримати можливість здійснювати адекватну класифікацію рівнів всіх показників. Для цього необхідно визначити можливі

діапазоні вхідних факторів і результуючого показників, після цього необхідно задати загальний вигляд функцій належності нечітких термів всіх змінних.

Для формування систем знань нечіткого висновку можливе використання блоку Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB [15].

Насамперед суб'єктивно визначимо що мається на увазі під термами «високий ризик», «низький ризик» і т.п., визначаючи функції належності для відповідних нечітких множин. Лінгвістична вихідна змінна «Категорія ризику» представлена на рис. 2.

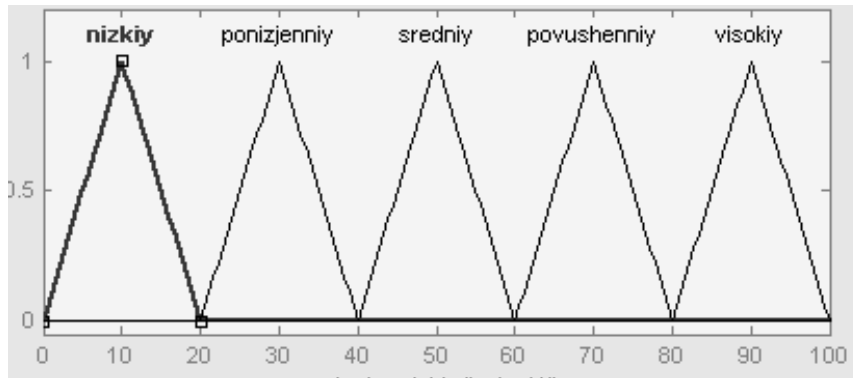


Рис. 2. Лінгвістична вихідна змінна «Категорія ризику»

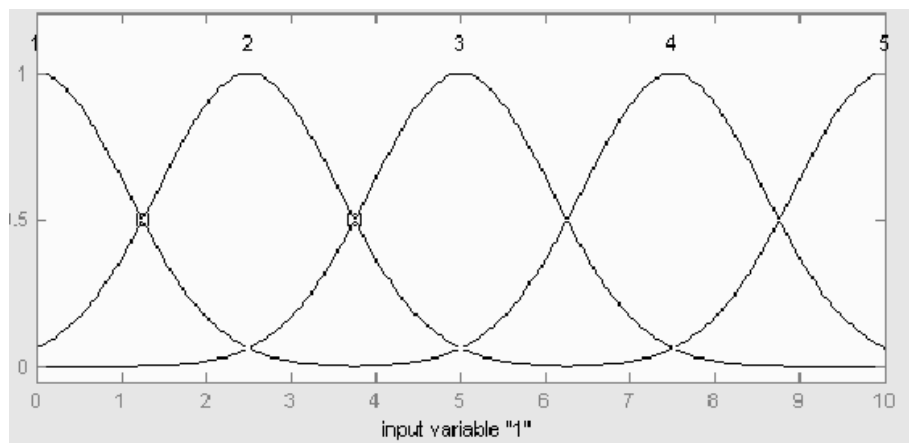


Рис. 3. Лінгвістичні вхідні змінні

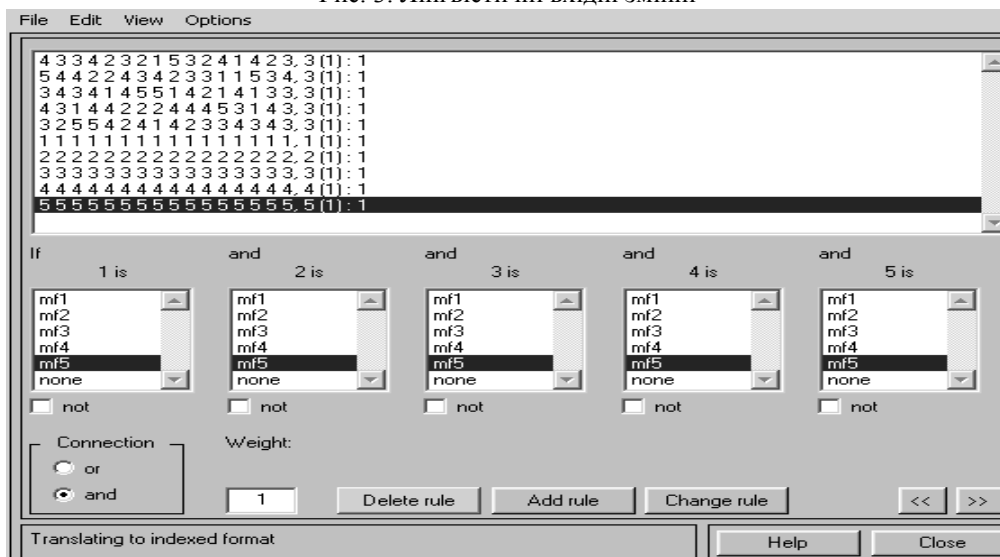


Рис. 4. Індексна база правил

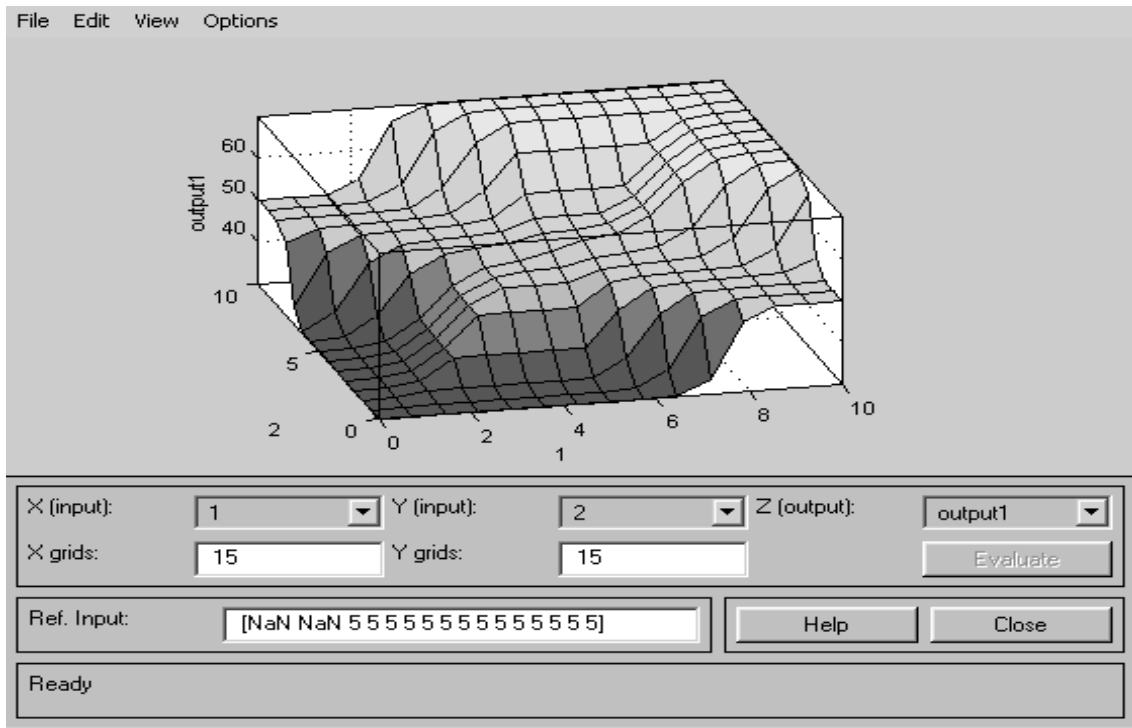


Рис. 5. Залежність вихідної змінної від вхідних

Можна зробити висновок, що нечіткі правила досить добре описують складну нелінійну залежність: якщо впливаючі фактори незначні, то і ризик буде низький; чим вище небезпека факторів, тим вище буде ризик.

Таким чином, визначення оцінки рівня небезпеки зсувів на ділянках автомобільних доріг практично може бути реалізовано в Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB, що дозволяє спростити та здешевити процес розрахунків шляхом його автоматизації, уникнути помилок у ньому внаслідок втручання ззовні.

6. Висновки

Таким чином, розроблено метод оцінки небезпеки зсувів на ділянках автомобільних доріг в умовах нечіткої інформації, що на відміну від існуючих дозволяє підвищити ефективності адекватності оцінки небезпеки зсувів на автомобільних дорогах.

Розроблений метод може скласти основу систем прийняття рішення для моніторингу небезпеки природних процесів.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку моделей формування портфелів проектів на перспективу і поточний період протизсувних заходів на окремій ділянці за наявними даними в залежності від категорії дороги.

Литература

1. Рудько, Г. И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты): монография

[Текст] / Г. И. Рудько, И. Ф. Ерыш. – К.: Задруга, 2006. – 624 с.

2. Нефёдов, Л. И. Модели и методы управления чрезвычайными природными ситуациями на магистральных автомобильных дорогах [Текст] / Л. И. Нефёдов, Н. Ю. Филь, Ю. Л. Губин, Е. М. Мельниченко. – Харьков: ХНАДУ, 2011. – 136 с.

3. Дробноход, Н. И. Устойчивое экологически безопасное развитие : украинский контекст [Текст] / Н. И. Дробноход // Зеркало недели. – 2001. – № 21. – С. 15

4. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2012 році [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopovid2012.html>

5. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2013.html

6. Маций, С. И. Оползневая опасность и риск смещений грунтов на склонах [Текст] / С. И. Маций, Е. В. Безуглова. // Геоэкология. – 2007. – № 6. – С. 537-546.

7. Маслов, Н. Н. Механика грунтов в практике строительства [Текст] / Н. Н. Маслов. – М.: Стройиздат, 1977. – 320 с.

8. Рагозин, А. Л. Теория и практика оценки геологических рисков: дисс. в виде науч. [Текст] Докл. ... д-ра геол.-минерал. наук: 04.00.07 / А. Л. Рагозин // ПНИИИС. – М, 1997. – 62 с.

9. Белоусова, А. П. Оценка опасности и риска загрязнения подземных вод [Текст] / А. П. Белоусова // Геоэкология. – 2006. – № 2. – С. 115–123.

10. Chowdhury, R. Role of slope reliability analysis in landslide risk management [Text] / R. Chowdhury, P. Flentje // Bull. Eng. Geol. Env. – 2003. – Vol. 62. – P. 41–46.

11. Кондратьев, В. Д. Комплексная оценка уровня риска опасного объекта [Текст] / В. Д. Кондратьев, А. В. Толстых, Б. К. Уандыков, А. В. Щепкин // Системы управления и информационные технологии. – 2004. – № 3 (15). – С. 53–57.

12. Einstein Herbert, H. Risk assessment and uncertainties [Text] / Herbert H. Einstein and Karim S. Karam // Landslides - Causes, Impacts and Countermeasures: Int. conf. -Davos, Switzerland, 2001. – P. 457–488.

13. Norrman, Jenny Decision analysis under risk and uncertainty at contaminated sites. A literature review [Text] / Jenny Norrman // Swedish Geotechnical Institute Varia 501. – Linkoping, 2001. – P. 76.

14. Раскин, Л. Г. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения [Текст] / Л. Г. Раскин, О. В. Серая– Харьков : Парус, 2008. – 352 с.

15. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH [Текст] / А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

References

1. Rud'ko, G. I. (2006). Opolzni i drugie geodinamicheskie processy gornoskladchatykh oblastey Ukrainy (Krym, Karpaty) [Landslides and other geodynamic processes of fold-mountain provinces of Ukraine (Crimea, the Carpathians)]. Zadruga, 624.

2. Nefedov, L. I., Fil' N. Yu., Gubin Yu. L., Mel'nichenko Ye. M. (2011). Modeli i metody upravleniya chrezvychaynymi situatsiyami na magistral'nykh avtomobil'nykh dorogach [Models and methods of the natural emergency situation management on highways]. KhNADU, 136.

3. Drobnohod, N. I. (2001). Ustoychivoye ekologicheski bezopasnoye razvitiye: ukrainskiy kontekst [Sustainable environmentally sound development: Ukrainian context]. Zerkalo nedeli, 21, 15.

4. Natsionalna dopovid pro stan tehnogennoi ta pryrodnoi bezpeky v Ukraini u 2012 rotsi [National Report on the technogenic and natural security in

Ukraine in 2012]. Available at: <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopovid2012.html>.

5. Natsionalna dopovid pro stan tehnogennoi ta pryrodnoi bezpeky v Ukraini u 2013 rotsi [National Report on the technogenic and natural security in Ukraine in 2013]. Available at: http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2013.html.

6. Matsiy, S. I., Bezuglova Ye. V. (2007). Opolznevyaya opasnost' i risk smescheniy gruntov na sklonah [The landslide hazard and risk of soil displacement on slopes]. Geoecologiya, 6, 537–546.

7. Maslov, N. N. (1997). Mekhanika gruntov v praktike stroitel'stva [Soil mechanics in building practice]. Stroyizdat, 320.

8. Ragozin, A. L. (1997). Teoriya i praktika otcenki geologicheskikh riskov [Theory and practice of geological risk assessment]. Moscow, 62.

9. Belousova, A. P. (2006). Otcenka opasnosti i riska zagryazneniya podzemnykh vod [Hazard and risk assessment of groundwater contamination]. Geoecologiya, 2, 115–123.

10. Chowdhury, R., Flentje, P. (2003). Role of slope reliability analysis in landslide risk management. Bull. Eng. Geol. Env., 62, 41–46.

11. Kondrat'yev, V. D., Tolstych, A. V., Uandykov, B. K., Schepkin, A. V. (2004). Kompleksnaya otcenka urovnya riska opasnogo ob'yekta [Comprehensive assessment of the risk level of dangerous object]. Systemy upravleniya i informatcionnye tehnologii, 3 (15), 53–57.

12. Einstein, H. H., Karam, K. S. (2001). Risk assessment and uncertainties. Landslides - Causes, Impacts and Countermeasures: Int. conf. Davos (Switzerland), 457–488.

13. Norrman, J. (2001). Decision analysis under risk and uncertainty at contaminated sites. A literature review. Swedish Geotechnical Institute Varia 501, 76.

14. Raskin, L. G., Sераya, O. V. (2008). Nechetkaya matematika. Osnovy teorii. Prilojeniya [Fuzzy Mathematics. Fundamentals of the theory. Applications]. Parus, 352.

15. Leonenkov, A. V. (2005). Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH [Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH]. BHV-Peterburg, 736.

Нефьодов Леонід Іванович, доктор технічних наук, професор, кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Петровського, 25, г. Харків, Україна, 61002
E-mail: nefedovli@yandex.ru

Філь Наталія Юрївна, кандидат технічних наук, доцент, Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Петровського, 25, м. Харків, Україна, 61002
E-mail: fnu@hotmail.ru