

УДК 338.244:504.453

МЕТОД ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ОПОЛЗНЕЙ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ АВТОДОРОГАХ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Д.т.н. Л.И. Нефёдов, к.т.н. Н.Ю. Филь, Харьковский национальный автомобильный университет

В статье разработан метод оценки опасности оползней на магистральных автомобильных дорогах.

У статті розроблено метод оцінки небезпеки зсувів на магистральних автомобільних дорогах.

The article developed a method for hazard evaluation landslides on the main highways

Ключевые слова: оползни, опасность, магистральные автодороги.

Постановка проблемы и анализ публикаций.

Бесперывное углубление экологического кризиса, а точнее кризиса отношений общества и природы, в конце XX – в начале XXI века вызвало необходимость радикальных изменений целей и приоритетов развития [1,2].

Безопасность жизнедеятельности населения и многочисленных объектов в районах развития опасных природных и природно-техногенных процессов является одной из основных социально-экологических проблем современности.

Особенности перехода Украины к устойчивому развитию, прежде всего, связаны с необходимостью решения комплекса экологических, социальных, экономических проблем. Несмотря на определенное, якобы, улучшение отдельных экологических показателей в последнее время общая, экологическая ситуация в Украине остается критической [1,2].

Несбалансированная и бессистемная хозяйственная деятельность создала реальные предпосылки для активного разрушения экосистемы. Привлечение различных территорий в сферу хозяйственной деятельности приводит к неизбежным изменениям окружающей среды, сопровождающемуся техногенным усилением естественного течения процессов, особенно в местах расположения потенциально опасных объектов.

Среди наиболее разрушительных факторов выделяют оползни, сели в горах и предгорьях, эрозии по берегам рек и склонах балок [3,4].

Хозяйственная деятельность, отсутствие надлежащих инженерных и экологических мероприятий по освоению территорий вызывает активное распространение оползней на территории населенных пунктов, что создает угрозу безопасности жизнедеятельности населения, инфраструктуре и территории в целом.

В Украине количество оползней составляет около 30 тысяч и постоянно меняется за счет ликвидации (срезания, очистки), слияния или формирования новых оползней под влиянием природных и техногенных факторов [4].

Активизация оползней отмечена на территории почти всех административных областей, за исключением

территорий Волынской и Ровенской областей, которым не свойственно развитие оползневой процесса [4].

Одной из главных задач методологии управления чрезвычайными ситуациями является задача управления проектами мониторинга чрезвычайных ситуаций [5].

Таким образом, проблема предотвращения оползней, обеспечения устойчивости участков активного смещения грунтов связана с безопасностью населения и объектов жизнедеятельности. Многочисленные случаи проявления оползневой активности сопровождают строительство и эксплуатацию автомобильных и железных дорог, трубопроводов, опор линий электропередач, жилых и других строений в горной местности [5].

На различных этапах освоения территории оценка опасности и выбор мероприятий по их предупреждению требуют выявления и учета многих факторов, рассмотрения различных сценариев развития событий. В состав работ входит анализ архивных материалов и текущих результатов наблюдений, исследования физико-механических свойств грунтов, составление моделей оползневых тел, выбор расчетных схем, оценка вероятности и частоты развития смещений, возможного ущерба, анализ последствий [6].

В зависимости от имеющейся в распоряжении информации, выполняют качественную или количественную оценку опасности оползней. Основную трудность составляет наличие неопределенностей: пространственной изменчивости свойств грунтов, субъективного характера интерпретации результатов, интенсивности и временного воздействия фактора, способствующего активизации оползневой смещения [6].

Например, в зарубежных исследованиях рассматриваются подходы для оценки экологических рисков [7-8], а также решение указанных экологических задач на основе применения нечетких множеств [9] и нейросетевых технологий [10-11].

Формулировка цели и постановка задачи.

Целью работы является повышение эффективности адекватности оценки опасности оползней на магистральных автомобильных дорогах (МАД) для проектов мониторинга за счет разработки метода оценки опасности оползней в условиях нечеткой информации.

Рассмотрим методы решения поставленной задачи.

При решении таких задач многим входным данным невозможно сопоставить количественное значение, часто они определяются качественными признаками такими, как «много», «сильное» и т. д. Поэтому модели, построенные на числовых оценках входных данных, являются неточными. Входные данные

также зависят от субъективной оценки экспертов и содержат в себе неопределенность и неоднозначность, которые важно учитывать в процессе принятия решения.

Основные этапы обобщенного метода нечеткого вывода представлены на рисунке 1.

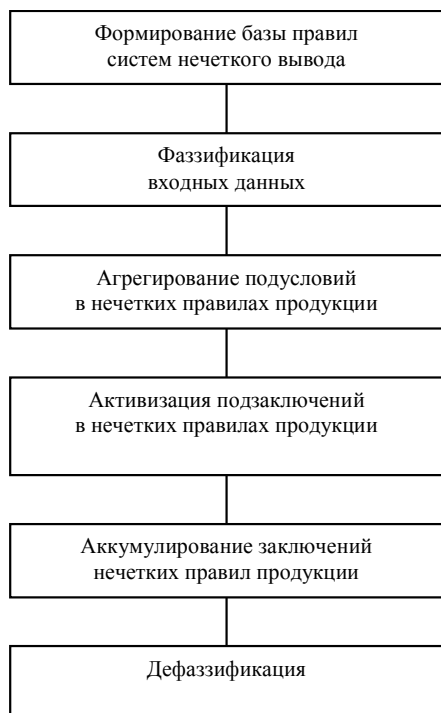


Рис. 1. Основные этапы метода нечеткого вывода

Лингвистическая переменная $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$

это кортеж следующих значений, где β - имя переменной; T - базовое множество значений ее термов - значений, каждое из которых предоставляется посредством нечеткого множества; X - множество-носитель возможных конкретных значений переменной для всех термов; G - некоторая синтаксическая процедура генерации новых термов из множества T ; M - семантическая процедура предоставления термина определенной нечеткой переменной вида $\langle X, \mu_i(X) \rangle$, $\mu_i(X)$ - функция принадлежности i -го термина из множества T .

Для формирования систем знаний нечеткого вывода возможно использование блока Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB [13].

Построение системы нечеткого вывода (СНВ) основывалось на алгоритме Мамдани.

Проектирование базы правил СНВ. Каждое правило представляется в виде:

Если <условие> то <заключение> [мера верности правила]

Для алгоритма Мамдани <условие> и <заключения> выглядят как логические связи следующих записей: <нечеткая переменная> = <значение>

Рассмотрим формирование базы правил систем нечеткого вывода. Факторы, определяющие степень

опасности оползня на МАД можно разделить на две группы.

Первая группа – это инженерно-геологические факторы. Эти факторы имеют качественную и количественную природу. Так качественными факторами являются следующие: развитие процессов выветривания, наличие порового давления воды и т.п., а количественными: угол откоса, высота стенки срыва [6].

Их систематизация при сопоставлении по степени влияния позволила предложить балльные оценки, учитывающие проявление каждого фактора, как показано в таблице 1.

Таблица 1
Факторы, влияющие на опасность оползней

Влияющие факторы	Краткое описание	Баллы
Трещины отрыва на обочине или прилегающем откосе	а) незначительные	1
	б) формирующиеся	2
	в) сформировавшиеся	3
	г) поверхностные смещения	4
	д) стенки срыва грунта	5
Высота откоса, м	а) до 5	1
	б) до 10	2
	в) до 15	3
	г) до 20	4
	д) более 20	5
Инженерно-геологическая группа пород	а) полускальные с пластичными	1
	б) грубообломочные	2
	в) дресвяно-щебенистые	3
	г) глинистые, рыхлые	4
	д) рыхлые водонасыщенные	5
Крутизна откоса, град	а) до 20	1
	б) до 30	2
	в) до 45	3
	г) до 60	4
	д) более 60	5
Протяженность вдоль дороги, м	а) до 20	1
	б) до 40	2
	в) до 70	3
	г) до 120	4
	д) более 120	5
Интенсивность проявления процессов эрозии (плоскостной, боковой, глубинной, струйной)	а) очень слабая	1
	б) слабая	2
	в) средняя	3
	г) сильная	4
	д) сильная, со срывами грунта	5
Интенсивность проявления выветривания	а) очень слабое	1
	б) слабое	2
	в) среднее	3
	г) сильное, глубокие борозды	4
	д) сильное со смещениями	5
Ориентировочная мощность оползня / видимость высота стенки срыва, м	а) до 1 / до 0,5	1
	б) до 3 / до 1	2
	в) до 5 / до 2,5	3
	г) до 7 / до 4,5	4
	д) более 7 / более 5	5

Деятельность поверхностных и подземных вод	а) локальные блюдца замокання на полотне или откосе	1
	б) участки застоя воды в подножье откоса	2
	в) выход струйных течений	3
	г) водонасыщенные грунты	4
	д) рыхлые сильно водонасыщенные отложения	5
Задернованность, залесенность откоса	а) залесен, задернован не влаголюбивой растительностью	1
	б) задернован, отчасти залесен	2
	в) задернован, единичные деревья	3
	г) порос травой, слабо задернован	4
	д) обнажен; задернован влаголюбивой растительностью	5
Проявление неблагоприятных процессов на противоположном откосе (верховом / низовом)	а) очень слабое	1
	б) слабое	2
	в) среднее	3
	г) активное	4
	д) активное, переходящее в смещение грунта	5

Для формирования базы правил систем нечеткого вывода были определены 11 входных (количество рассматриваемых факторов) и выходные лингвистические переменные и соответствующие им термы-множества, а также области определения (универсумы) нечетких переменных, которые входят в определение соответствующих лингвистических переменных.

Функции принадлежности для всех лингвистических переменных заданы таблично.

На рисунке 2 представлена функция принадлежности для одной лингвистической переменной, построенной в блоке Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB.

Выходной лингвистической переменной является β - степень опасности оползня на МАД. Множество значений β : $T = \{\text{«низкий»}, \text{«пониженный»}, \text{«средний»}, \text{«повышенный»}, \text{«высокий»}\}$.

Далее проводится фаззификация входных переменных - установление соответствия между конкретным значениям входных переменных и значением ее терма, вместе с функцией принадлежности.

Следующий этап - агрегирования сложных условий, которые стоят в правилах после ключевого слова ЕСЛИ, т.е. определение степени истинности всех условий во всех правилах, если условия предоставляются с помощью сложных логических выражений. Правило активируется, если истинность его условия больше нуля. В базах знаний процедура агрегирования условий в правилах выполняется с помощью нечетких логических

операций - нечеткой конъюнкции, нечеткой дизъюнкции, нечеткого отказа и др.

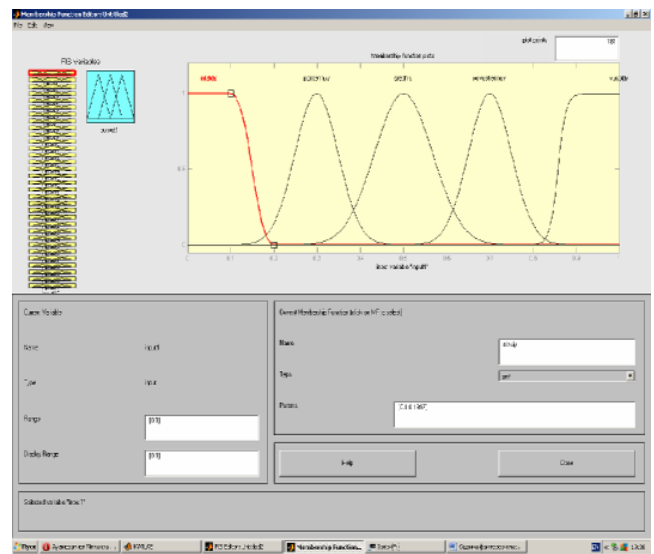


Рис. 2. Функция принадлежности для одной лингвистической переменной, построенной в среде fuzzy системы MATLAB

Активация подзаключений - процесс определения степени истинности (принадлежности к соответствующим термам) переменных, которые стоят в заключениях активных правил, по формуле: $c_k = b_k F_k$, где c_k - степень истинности заключения правила k , b_k - степень истинности его условия, F_k - степень истинности самого правила (весовой коэффициент - правила). После определения вектора $C = (c_1, \dots, c_q)$ определяются функции принадлежности для каждого из подзаключений для каждой выходной лингвистической переменной. Допустим, что соответствующий терм выходной лингвистической переменной определяется функцией принадлежности $\mu(y)$. Тогда после процедуры активации получаем обновленную функцию принадлежности соответствующего терма (подзаключения) $\mu'(y)$ по одному из методов нечеткой композиции:

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

Отметим, что различные правила подзаключений могут содержать одинаковые термы лингвистических переменных. В этом случае для каждого терма мы определяем множество различных функций принадлежности, которые исчисляются по одному из правил нечеткой композиции по каждому правилу продукции. Окончательная функция принадлежности для этого терма определяется в следующем пункте.

Аккумуляция заключений, то есть, определение значения функций принадлежности для термов всех выходных переменных. Если для одного терма

определено множество функций принадлежности $\mu'_1(y), \dots, \mu'_p$, то аккумуляция выполняется по одному из правил объединения нечетких множеств:

- объединение:

$$\mu'(y) = \max \{\mu'_1(y), \mu'_2(y)\}; \quad (1)$$

- алгебраическое объединение:

$$\mu'(y) = \mu'_1(y) + \mu'_2(y) - \mu'_1(y)\mu'_2(y); \quad (2)$$

- предельное объединение:

$$\mu'(y) = \max \{\mu'_1(y) + \mu'_2(y) - 1, 0\}; \quad (3)$$

- операция λ -суммы:

$$\mu'(y) = \lambda\mu'_1(y) + (1 - \lambda)\mu'_2(y), \lambda \in [0,1]; \quad (4)$$

Дефаззификации выходных переменных (определение конкретных значений по функциям принадлежности термов) рассматривается методом центра тяжести для дискретных нечетких множеств по формуле:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \mu'(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu'(y_i)}. \quad (5)$$

В результате имеем количественную оценку опасности оползня на МАД (рис. 3) - функцию принадлежности лингвистической переменной β .

Разработанный метод может составить основу систем принятия решения для мониторинга опасности природных процессов.

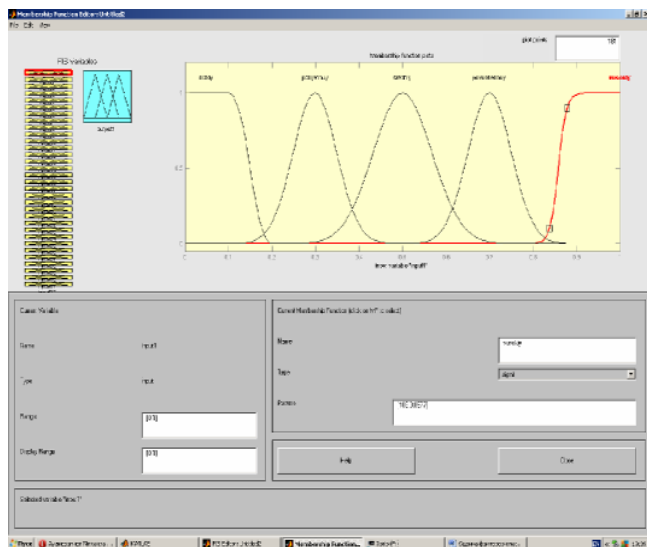


Рис. 3. Функция принадлежности лингвистической переменной β

Выводы. Таким образом, разработан метод оценки опасности оползней на магистральных автодорогах в условиях нечеткой информации.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку моделей формирования портфеля проектов на перспективу и текущий период противооползневых мероприятий на отдельном участке по имеющимся данным в зависимости от категории дороги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дробноход Н. Устойчивое экологически безопасное развитие: украинский контекст [Электронный ресурс] – [Режим доступа : [http://gazeta.zn.ua/ ENVIRONMENT/ustoychivoe_ekologicheski_bezopasnoe_razvitie_ukrainskiy_kontekst.html](http://gazeta.zn.ua/ENVIRONMENT/ustoychivoe_ekologicheski_bezopasnoe_razvitie_ukrainskiy_kontekst.html)]
2. Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій. Затверджено Указом Президента України від 26 березня 1999 р. – № 284–99.
3. Рудько Г.И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты): монография / Г.И. Рудько, И.Ф. Ерыш. – К.: За друга, 2006. – 624 с.
4. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2012 році [Электронный ресурс] - [Режим доступа <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopovid2012.html>]
5. Нефёдов Л.И. Модели и методы управления чрезвычайными природными ситуациями на магистральных автомобильных дорогах / Л.И. Нефёдов, Н.Ю. Филь, Ю.Л. Губин, Е.М. Мельниченко. – Харьков: ХНАДУ, 2011. –136 с.
6. Мацій С. И. Оползневая опасность и риск смещений грунтов на склонах / С.И. Мацій, Е.В. Безуглова. // Геоэкология. - 2007. - № 6. - С. 537-546.
7. Alcamo, J. The GLASS model: A strategy for quantifying global environmental security / J.Alcamo, M.B Endejan, F. Kaspar., T Rosch // Environmental Science and Policy, 4 (1). 2002. P. 1-12.
8. Adams, S.M. Assessing the current status of ecological risk assessment / S.M. Adams, M Power // Environmental Management, 21. 1997. - P. 825-830.
9. Yin, Y.Y. Fuzzy relation analysis for multicriteria water resources management / Y.Y. Yin, G.H. Huang, K.W. Hipel // Journal of Water Resources Planning and Management, 125 (1). 1999. - P.41-47.
10. Ultsch, A. Kohonen's self organizing feature maps for exploratory data analysis / A. Ultsch, H.P. Siemon // Proceedings of the INNC'90 International Neural Network Conference. – 1990. - P. 305-308.
11. Chon, T.-S. Patternizing communities by using an artificial neural network / T.-S. Chon, Y.S. Park, K.H. Moon, E.Y. Cha // Ecological Modelling, 90 (1). 1996. – P.69-78.
12. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. М.: Радио и связь, 1982. - 432 с.
13. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 736 с.