

# МОДЕЛИ ОЦЕНКИ И ПЛАНИРОВАНИЯ МОНИТОРИНГА ОПАСНОСТИ ОПОЛЗНЕЙ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

**Л. И. Нефедов**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой\*

**Н. Ю. Филь**

Кандидат технических наук, доцент\*

**Ю. Л. Губин**

Аспирант\*

\*Кафедра автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ул. Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61002

*Розглянуті моделі оцінки і планування небезпеки зсувів на магістральних автомобільних дорогах в умовах різного ступеня невизначеності початкової інформації за багатьма критеріями*

*Ключові слова: моніторинг, обвали, магістральні автомобільні дороги*

*Рассмотрены модели оценки и планирования опасности оползней на магистральных автомобильных дорогах в условиях разной степени неопределенности исходной информации по многим критериям*

*Ключевые слова: мониторинг, оползни, магистральные автомобильные дороги*

*Models of an estimation and planning of danger of landslips on the main highways in the conditions of different degree of uncertainty of the initial information by many criteria are considered*

*Keywords: monitoring, landslides, main highways*

## 1. Постановка проблемы

В Автономной республике Крым (АРК) наблюдается 1576 оползней, 232 из них разрушают автомобильные дороги. При этом 79 оползней являются очень активными. Общая длина участков дорог, которые проходят по телу оползней, составляет 37,2 км. Наиболее поражены участки магистральных автомобильных дорог (МАД) Симферополь – Ялта и Ялта – Севастополь, на которые приходится 70% всех дорожных оползней Крыма.

По прогнозам ученых, в Крыму начался пик повышенной активности оползней, который придется на 2010–2012 годы. Исследования государственной геологической службы "Южэкогеоцентр" показывают, что в 2010–2012 годах в границах автомобильных дорог в активном состоянии будут порядка 70% оползней, 5–10% оползневых участков покажут интенсивную и катастрофическую активность [1].

Ликвидация оползней – длительный процесс, который занимает в среднем от 6 до 10 месяцев. Опыт показывает, что предупреждать оползни на автодоро-

гах значительно дешевле, чем ликвидировать последствия их активизации, ведь это приводит не только к многократному увеличению расходов на строительные работы, но и к потерям в экономике в результате ограничения движения транспорта.

## 2. Анализ последних исследований и публикаций, нерешенных задач

В работе [2] проанализированы методы расчета относительных весов опасности территории, который показал, что наиболее приемлемым для определения относительной опасности территории является метод попарных сравнений.

В работе [3] предложен подход к синтезу экспертных систем, которые позволяют оценивать вероятность возникновения элементарных нежеланных (базисных) событий на потенциально опасных объектах.

Службой автодорог в АРК разработана Программа выполнения ремонтных работ на МАД для инженерной защиты автодорог с привлечением научно-иссле-

довательских проектных институтов и применением современных строительных материалов и новых технологий, намечены первоочередные меры относительно ремонта аварийных участков МАД. Однако каждый оползень имеет свои особенности и требует индивидуального подхода. На данное время не существуют апробированные математические модели и достоверные исходные данные для оценивания оползней. А большое количество трудноформализуемых исходных данных, которые влияют на возникновение масштабных чрезвычайных природных ситуаций (ЧПС) на МАД, целесообразно оценивать, используя экспертные методы. В связи с этим возникает необходимость разработки математических моделей и методов определения коэффициентов пораженности участков МАД и источников ЧПС, а также планирования мониторинга их опасности.

### 3. Постановка задачи и ее решение

Следовательно, целью исследования является разработка математических моделей и методов определения пораженности участков МАД оползнями и планирование мониторинга их опасности. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести оценку и определить пораженность участков МАД оползнями;
- провести оценку опасности оползней с учетом обобщенных коэффициентов пораженности участков МАД и определить наиболее опасные оползни и технико-эксплуатационные показатели (ТЭП) участков МАД, на которых они расположены;

- определить план проведения мониторинга наиболее опасных оползней.

Рассмотрим общую постановку первых двух задач. Известно:

- множество участков МАД  $U = \{U_i; i = \overline{1, i'}\}$ , где  $i'$  – число участков МАД;
- для каждого из них коэффициенты линейной  $l_j$  и площадной пораженности  $s_j$ ;
- для каждого участка известно множество источников ЧПС (оползней)  $U_i \rightarrow \{H_j^i\}$ ,  $j = \overline{1, j^i}$ ,  $j^i$  – число оползней, которые могут контролироваться множеством критериев оценки опасности оползней  $E_{jp}^i$ ,  $p = \overline{1, p^j}$ ,  $p^j$  – число контролируемых критериев оценки для  $j$ -го оползня  $i$ -ого участка МАД.

Необходимо определить наиболее пораженные участки МАД и наиболее активные (опасные) оползни.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать метод анализа иерархий (МАИ), который основывается на формализованных экспертных знаниях о возможных ЧПС на МАД и степени их влияния на вероятность возникновения ЧПС на МАД.

Метод анализа иерархий (МАИ), разработанный американским математиком Т. Саати [4,5], является систематической процедурой для иерархического представления элементов, которые определяют суть любой проблемы.

Согласно МАИ, решение любой проблемы является процессом поэтапного определения приоритетов или весовых коэффициентов. На первом этапе определяются наиболее значимые элементы проблемы (задачи), на втором – наилучший критерий (способ или средство) проверки зависимости конечного результата от элементов; следующим этапом является выработка альтернативных решений и оценка их качества. Весь



Рис. 1. Иерархическая модель оценки коэффициентов пораженности участков МАД оползнями и коэффициентов их опасности

процесс поддается проверке и переосмыслению, пока не будет уверенности, что процесс охватил все важные характеристики, необходимые для представления структуры решения проблемы (задачи).

Процесс может быть проведен над последовательностью иерархий: в этом случае результаты, полученные в одной из них, используются в качестве исходных данных при изучении следующей. Предложенный метод позволяет синтезировать процесс решения такой многоступенчатой задачи.

Так, в пределах автодороги Алушта-Ялта-Севастополь отмечается неравномерная пораженность оползневыми процессами, что позволяет выделить разные участки по этим величинам [1]. Таким образом, для определения обобщенных весовых коэффициентов пораженности участков МАД Алушта-Ялта-Севастополь используются площадные и линейные коэффициенты пораженности, которые в кумулятивной форме отображают степень действия всех факторов.

На втором уровне иерархии выделяются основные участки автодороги Алушта-Ялта-Севастополь, которые склонны к оползневому процессам.

На третьем уровне определяются критерии, которые характеризуют оползни: длина (Д); ширина (Ш); мощность (М); средняя крутизна оползня (СКО); активность (А).

На четвертом уровне для каждого участка определяются номера наиболее активных оползней, то есть перечень возможных источников ЧПС. На рис. 1 приведена иерархическая модель оценки коэффициентов пораженности участков МАД и опасности оползней (источников ЧПС) на МАД.

Целью этой модели является получение приоритетов или взвешенных коэффициентов элементов на нижнем уровне, которые лучше всего отражают относительное влияние на вершину иерархии.

В табл. 1 приведены значения коэффициентов линейной, площадной и обобщенной пораженности оползневыми процессами прилегающих участков МАД [1].

**Таблица 1**

Значение коэффициентов линейной, площадной и обобщенной пораженности оползнями участков МАД Алушта-Ялта-Севастополь

Название участка	Коэффициент линейной пораженности	Коэффициент площадной пораженности	Обобщенный коэффициент пораженности участка
Батилиманский	0,15	0,06	0,05623
Ласпинский	0,22	0,01	0,044094
Тессели-Снитовский	0,65	0,6	0,215076
Бекетово-Оползневский	0,42	0,7	0,225458
Лименский	0,47	0,04	0,065264
Симеиз-Мисхорский	0,35	0,2	0,104099
Гаспра-Ливадийский	0,04	0,05	0,026025
Чехово-Ялтинский	0,54	0,1	0,093716
Никитский	0,24	0,2	0,09021
Краснокаменско-Кастельский	0,31	0,1	0,079827
Сумма обобщенных коэффициентов пораженности			1

Согласно полученным данным, наибольшее значение обобщенного весового коэффициента пораженности участков имеет Бекетово-Оползневский участок.

Если на каком-то участке МАД появляется новый источник ЧПС, то применяется модификация МАИ [5] – сравнение объектов методом копирования.

Метод копирования применяется в тех случаях, когда среди анализируемых альтернатив есть такие, которые идентичны по одному или нескольким анализируемым свойствам (критериям качества).

Метод копирования позволяет не нарушать порядок ранее ранжированных альтернатив при добавлении новых, таких, которые являются копиями ранее ранжированных альтернатив.

В настоящее время существует кадастр оползней Крыма [1], где кроме наименования оползня, причин и года образования, местоположения, относительно дороги также представлены характеристики оползня: длина, ширина, мощность, средняя крутизна склона, активность оползня.

Для оценки опасности оползней использовалась обобщенная аддитивная оценка.

Весовые коэффициенты важности всех критериев оценки опасности оползней приняты одинаковыми – 0,2.

Задача завершается ранжированием всех известных оползней на рассматриваемых участках МАД. Решением рассмотренной задачи являются коэффициенты весомости j-го оползня i-го участка МАД  $v_{ij}$ , которые являются исходными данными для решения задачи определения коэффициентов весомости оцениваемых показателей состояния МАД.

В табл. 2 приведен ранжированный перечень оползней, расположенных на МАД Алушта-Ялта-Севастополь с учетом обобщенных коэффициентов пораженности участков МАД (табл. 1).

**Таблица 2**

Наиболее активные оползни

Название участка	Номер километра	Номер оползня	Коэффициент
Краснокаменско-Кастельский	53	357	0,02976
Краснокаменско-Кастельский	59	246	0,03366
Чехово-Ялтинский	97	128	0,03933
Чехово-Ялтинский	98	1240	0,04514
Бекетово-Оползневский	107	19	0,06100

Рассмотрим пример решения задачи определения коэффициентов весомости оцениваемых ТЭП состояния МАД Симферополь-Ялта-Севастополь для 5 наиболее активных источников ЧПС. Задача решается с помощью метода анализа иерархий. В качестве ТЭП рассматриваются: состояние насыпи; состояние дренажа; состояние водоотвода; состояние свайных удерживающих сооружений.

На рис. 2 приведена модель оценки ТЭП в контролируемых точках (оползнях) выбранных участков МАД.

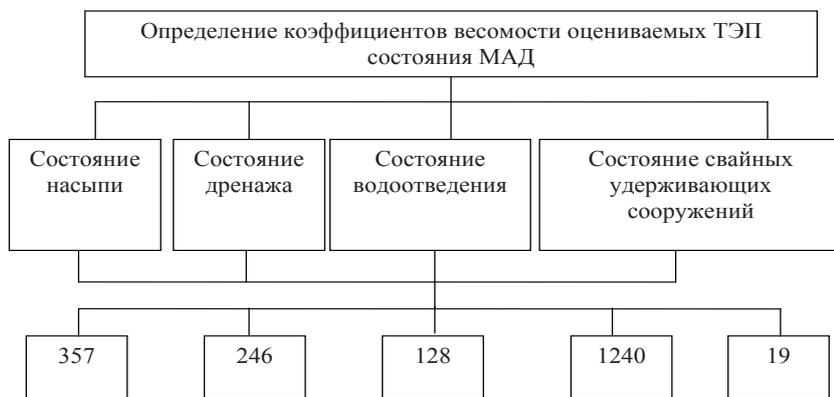


Рис. 2. Иерархическая модель оценки ТЭП в контролируемых точках (оползнях) выбранных участков МАД

В табл. 3 приведены коэффициенты весомости указанных ТЭП в выбранных точках контроля заданных участков МАД Алушта-Ялта-Севастополь для активных оползней.

Таблица 3

Коэффициенты весомости активных оползней

Номер ополз-ня	Показатели				
	КМ + метры	Сос-тоя-ние насы-пи	Состоя-ние водо-отвода	Состояние дренажа	Состояние свайных удерживающих сооружений
357	53+100	0,125	0,142857	0,142857	0,169785
246	59+900	0,125	0,142857	0,142857	0,169785
128	97+150	0,25	0,285714	0,285714	0,295613
1240	98+850	0,25	0,285714	0,285714	0,195032
19	107+100	0,25	0,142857	0,142857	0,169785

На следующем этапе необходимо определить план проведения их мониторинга.

Рассмотрим постановку задания планирования мониторинга [6]. Известно:

-  $v_{ij\gamma}$  коэффициенты весомости  $\gamma$ -го ( $\gamma = \overline{1, \gamma^j}$ ) показателя в  $j$ -ой точке контроля (номер оползня)  $i$ -го участка МАД,  $\sum_{j=1}^j v_{ij\gamma} = 1$ ;  $i = \overline{1, i^i}$ ;  $j = \overline{1, j^j}$ ;  $\gamma = \overline{1, \gamma^j}$ ,

- выделен бюджет для проведения мониторинга всех оценок  $C_0$  и стоимость мониторинга одной оценки  $\gamma$ -го ТЭП  $j$ -ой точки контроля  $i$ -го участка МАД –  $c_{ij\gamma}$ .

Введем переменную  $x_{ij\gamma} = \text{int}$ , определяющую целое число необходимых оценок  $\gamma$ -го ТЭП в  $j$ -ой точке контроля  $i$ -го участка МАД за текущий период.

Необходимо определить план  $X = \|x_{ij\gamma}\|$  проведения мониторинга ТЭП в заданных точках контроля выбранных участков МАД с учетом заданных критериев и ограничений.

В качестве критериев могут рассматриваться:

- максимум суммарного количества всех оценок ТЭП при проведении мониторинга:

$$H(X) = \max \sum_{i=1}^{i^i} \sum_{j=1}^{j^j} \sum_{\gamma=1}^{\gamma^j} x_{ij\gamma}; \quad (1)$$

- максимум эффективности плана мониторинга ТЭП с учетом их весомости:

$$E(X) = \max \sum_{i=1}^{i^i} \sum_{j=1}^{j^j} \sum_{\gamma=1}^{\gamma^j} v_{ij\gamma} x_{ij\gamma}; \quad (2)$$

- минимум суммарной стоимости мониторинга ТЭП:

$$C(X) = \min \sum_{i=1}^{i^i} \sum_{j=1}^{j^j} \sum_{\gamma=1}^{\gamma^j} c_{ij\gamma} x_{ij\gamma}. \quad (3)$$

Область допустимых решений задается следующими ограничениями:

- суммарные расходы на проведение мониторинга всех показателей не должны превышать выделенный бюджет  $C_0$ :

$$\sum_{i=1}^{i^i} \sum_{j=1}^{j^j} \sum_{\gamma=1}^{\gamma^j} c_{ij\gamma} x_{ij\gamma} \leq C_0; \quad (4)$$

- по каждому ТЭП в  $j$ -ой точке контроля  $i$ -го участка МАД должно быть проведено не меньше одного измерения  $\gamma$ -го ТЭП и не больше нормативного количество оценок  $N_{ij\gamma}$ :

$$1 \leq x_{ij\gamma} \leq N_{ij\gamma}; \quad (5)$$

- на неотрицательность и целочисленность переменных  $x_{ij\gamma}$ :

$$x_{ij\gamma} \geq 0; \quad x_{ij\gamma} = \text{int}; \quad i = \overline{1, i^i}; \quad j = \overline{1, j^j}; \quad \gamma = \overline{1, \gamma^j}. \quad (6)$$

Рассмотренная модель (1)–(6) относится к задачам многокритериального линейного целочисленного программирования. Для решения используется метод многокритериальной оценки и оптимизации [7].

Рассмотрим пример задачи планирования мониторинга выбранных ТЭП в заданных точках контроля заданных участков МАД [6].

Согласно средним многолетним наблюдениями за экстремальными периодами проявления оползневых процессов в Горном Крыму и на его южных склонах аномальная активизация проявляется в подготовительных (октябрь-ноябрь) и процессоопасных (февраль-апрель) периодах. Общее количество дней в эти периоды составляет 120 день. Выделенный бюджет проведения мониторинга всех оценок составляет 1500 грн. в год.

Предполагается, что на каждом участке МАД одновременно оцениваются все ТЭП. За указанный период должно быть проведено не менее одного и не больше 10 оценок всех ТЭП для каждого участка МАД. На каждом участке МАД рассматривается только один оползень. Поэтому можно заменить искомые переменные  $x_{ij\gamma}$  на  $x_i$  – число оценок всех показателей для  $i$ -го участка.

Коэффициенты весомости частных критериев определены экспертами и равняются соответственно  $\lambda_C = 0,7$  и  $\lambda_{TEП} = 0,3$ .

В табл. 4 представлены: значение стоимости оценки всех ТЭП в данных точках контроля выбранных участков МАД и суммарного значения всех ТЭП данных участков, рассчитаны значения функций полезности частных критериев и обобщенной полезности с учетом коэффициентов важности.

Используя метод ветвей и границ был найден план проведения мониторинга данных участков МАД:  $x_1 = 4$ ;  $x_2 = 2$ ;  $x_3 = 2$ ;  $x_4 = 2$ ;  $x_5 = 1$ . Суммарные расходы на проведение мониторинга всех показателей составляют 1417,71 грн.

**Таблица 4**

**Значения частных критериев, их функций полезности и обобщенного критерия**

№ участка	Участок МАД КМ + метры	Частные критерии		Функции полезности частных критериев		Обобщенный критерий
		Стоимость	Суммарные ТЭП	Стоимость	Суммарные ТЭП	
1	53+100	91	0,580499	1	0	0,7
2	59+900	101	0,580499	0,888889	0	0,62
3	97+150	166	1,117041	0,185185	1	0,43
4	98+850	168	1,01646	0,166667	0,812538	0,36
5	107+100	183	0,705499	0	0,232973	0,07

**Выводы**

Таким образом, разработаны модели определения коэффициентов пораженности участков МАД оползнями и коэффициенты их опасности (т.е. источников ЧПС), а также планирования их мониторинга, которые позволяют в отличии от известных методов принимать решения в условиях разной степени не-

определенности исходной информации по многим критериям. Это дает возможность принимать научно-обоснованные решения по планированию мониторинга ТЭП МАД и опасности оползней с точки зрения пораженности участков МАД оползнями и выбора проектов их ликвидации.

**Литература**

1. Рудько Г.И., Ерыш И.Ф. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты): Монография – К.:Задруга, –2006. – 624 с.
2. Абрамов Ю.О., Гринченко С.М., Тютюнник В.В. Шевченко Р.І. Основні поняття та концепція моніторингу небезпечних факторів, як елемент єдиної системи попередження надзвичайних ситуацій // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2008. – №1 – С. 5-8.
3. Абрамов Ю.О., Гринченко С.М., Кірючкін О.Ю., Коротинський П.А., Миронець С.М., Росоха В.О., Тютюнник В.В., Чучковський В.М., Шевченко Р.І. Моніторинг надзвичайних ситуацій. Підручник. – Х.: Вид-во АЦЗУ, 2005. – 530 с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь. – 1993. – 305 с.
5. Saaty T.L. Decision making with Dependence and Feedback. The Analytic Network Process. Pittsburgh: PWS Publications, 2000. - 370 p.
6. Нефедов Л.И. Филь Н.Ю., Губин Ю.Л. Модели и методы мониторинга опасных чрезвычайных природных ситуаций на магистральных автомобильных дорогах // Технология приборостроения. - 2009. - №2. - С. 23-28.
7. Петров Е.Г., Новожилова М.В., Гребенник І.В. Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах / Навч. посібник. – Харків: ХДТУБА, 2002.– 284 с.