

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЧИСЛЕННЫХ КРИТЕРИЕВ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ОПАСНЫХ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ

| | |
|---|---|
| Симонян В.В. | Николаева Г.А. |
| Кандидат технических наук, доцент, НИУ МГСУ "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" | Студент, НИУ МГСУ "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" |
| Адрес: 129337 г. Москва, Ярославское шоссе, 26. E-mail: simonyan.vladimir55@gmail.com | Адрес: 129337 г. Москва, Ярославское шоссе, 26. E-mail: galina-nikolaeva-97@mail.ru |

Аннотация. В статье приведены существующие методы регионального и локального прогнозирования опасных оползневых процессов с целью перевода этих методов на математический язык для выявления наиболее предпочтительного из них. Делается вывод, что для выбора оптимального метода оценки опасных оползневых процессов, сравнительный анализ недостаточен. Необходимо разработать численный метод сравнительного количественного анализа результативности этих методов. Для выполнения количественного анализа результативности существующих методов оценки опасных оползневых процессов установлены следующие оценочные параметры: 1) надежность; 2) эффективность; 3) совокупность; 4) аналитичность; 5) используемость; 6) практичность. Для каждого оценочного параметра даны диапазоны изменения параметров (весов) P_i , которые принадлежат отрезку $[0;1]$ и проведен анализ диапазонов изменения этих параметров. Принятые линейки шкал весов P_i для различных параметров P_i представлены в таблице «Характеристики оценочных параметров, используемые для сравнительного анализа результативности существующих методов оценки оползневых опасностей». Представляя численные значения весов P_i для каждого параметра P_i как случайный вектор-строку, рассчитана относительная результативность каждого метода V_{res} . На основании численного метода выполнен сравнительный анализ результативности применения существующих методов, т.е. выполнено тестирование разработанного численного метода. Результаты тестирования приведены в таблице «Количественные значения параметров сравнительного анализа результативности существующих методов оценки оползневых опасностей». Для всех методов составлены соответствующие диаграммы структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода оценки проявления оползневых процессов, а также диаграмма сравнительной результативности методов оценки и прогноза оползневых процессов. Предлагаемый численный метод по сравнительному анализу оценки опасностей и рисков оползневых процессов, позволяет достаточно рационально выполнять оценку их результативности. По результатам тестирования можно сделать однозначный вывод, что из всех существующих методов метод математического моделирования является наиболее предпочтительным для оценки опасностей и рисков оползневых процессов.

Ключевые слова: оползень, прогнозирование, анализ, методы, результаты, параметры, результативность, тестирование.

Введение

Прогнозирование оползневых процессов бывает региональным и локальным.

Региональное прогнозирование предполагает заранее установление возможности возникновения оползневых процессов и их влияния на сооружения в пределах целого района. При региональном прогнозировании невозможно определить конкретные типы и места проявления оползневых процессов.

Локальное прогнозирование относится к конкретным типам

склоновых процессов (в отличие от регионального) и к местам их проявления, а также во взаимодействии с сооружениями. Локальное прогнозирование имеет большое практическое значение за свою конкретность, так как полнее оценивает природу и механизм оползневого процесса.

Региональное и локальное прогнозирование хорошо известно в научной литературе. Перечислим методы прогнозирования оползневых опасностей с целью перевода методов оценки оползневых процессов на математический язык.

К качественному классу методов относятся [7]:

- методы прогнозирования оползней, которые основаны по экспертным оценкам;
- методы оценок в баллах по установлению устойчивости территории.

Количественное прогнозирование оползневой опасности состоит из двух подклассов методов:

- детерминированных;
- вероятностных.

К подклассу детерминированных методов относятся следующие группы:

- методов оценки проявления оползневых процессов;
- методов аналогий.

Подкласс вероятностных методов

Еще не так давно для оценки оползневой опасности использовались, в основном, детерминистические методики анализа. Однако, в последнее время [4], [17], все чаще появляются методики анализа, которые основаны на статистических методах.

К методам прогнозирования оползневой опасности, основанные на статистическом подходе [6], [14] относятся следующие группы методов:

- геодинамического потенциала;
- регрессионного анализа;
- анализа ритмичности;
- статистический анализ факторов оползнеобразования;
- многомерная статистика.

При изучении устойчивости склона используют следующие методы [5], [13], [15], [16]:

- аналогий;
- физического моделирования;
- математического моделирования.

Чтобы выбрать оптимальный метод оценки опасных оползневых процессов, сравнительный анализ недостаточен. Необходимо разработать численный метод сравнительного количественного анализа результативности этих методов.

Для выполнения количественного анализа результативности методов оценки опасных оползневых процессов, установим следующие оценочные параметры P_i [11]:

- надежность (результаты оценки и вытекающие из этого выводы должны как можно с большей достоверностью быть в соответствии с реальными условиями, наблюдаемыми на исследуемом склоне);
- эффективность (параметр характеризует производительность метода, т.е. получение однозначного результата в наиболее сжатые сроки);
- совокупность (в качестве входной информации применяется не одна или две характеристики окружающей среды, а весь комплекс таких характеристик);
- аналитичность (возможность использования физического либо математического моделирования);
- используемость (учитываются проведенные работы по фактическому использованию конкретного метода к оценке оползневых процессов);
- практичность (незначительная величина затрат на разработку, простота и применение метода).

Проанализируем диапазоны изменения весов (параметров) P_i .

1. Надежность P_1 .

В основу определения надежности P_1 поставим площадной принцип:

$$P_1 = \frac{S}{S_0}, \quad (1)$$

где S – площадь территории, охваченная оползневой процессом (учитываются и активные и пассивные формы его проявления); S_0 – площадь всей рассматриваемой склоновой территории.

Надежность P_1 зависит от точности геодезической основы. Величина параметра P_1 принадлежит отрезку $[0;1]$.

2. Эффективность P_2 .

По нашему мнению, здесь уместно ввести следующие численные значения весов P_{2-j} :

- $P_{2-1} = 0,00$ – использовать результаты с последующей обработкой и интерпретация, невозможны;
- $P_{2-2} = 0,25$ – результаты неоднозначны, получены за продолжительный период времени, но можно их использовать в дальнейших исследованиях;
- $P_{2-3} = 0,50$ – результаты неоднозначны, получены за небольшой промежуток времени, но - можно их использовать в дальнейших исследованиях;
- $P_{2-4} = 0,75$ – результаты однозначны, но получены за продолжительный период времени;
- $P_{2-5} = 1,00$ – результаты однозначны, но получены за небольшой промежуток времени.

При этом имеется в виду, что небольшой промежуток времени – от месяца до года, продолжительный период – более одного года (до нескольких лет).

3. Совокупность P_3 .

Так как данный параметр находится посредством количества полей исходных характеристик окружающей среды, то имеет смысл

линейку численных значений весов P_{3-j} этого параметра определять следующим образом:

- $P_{3-1} = 0,2$ – используется одна входная характеристика;
- $P_{3-2} = 0,4$ – используются две или три входные характеристики;
- $P_{3-3} = 0,6$ – используются четыре или пять входных характеристик;
- $P_{3-4} = 0,8$ – используется шесть или семь входных характеристик;
- $P_{3-5} = 1,0$ – используется более семи входных характеристик.

Очевидно, что все входные характеристики должны быть получены из достоверных источников информации и быть достаточно надежными.

4. Аналитичность P_4 .

Здесь нами предлагается следующие значения величин весов P_{4-j} :

- $P_{4-1} = 0,0$ – методы моделирования (как физического, так и математического) отсутствуют.
- $P_{4-2} = 0,5$ – применяется один из видов моделирования (физическое или математическое) изучаемого процесса. Модель детерминированная или вероятностная.
- $P_{4-3} = 1,0$ – используется и физическое и математическое моделирование одновременно.

5. Используемость P_5 .

Используемость метода мы будем понимать в такой постановке вопроса: был ли применен метод для изучения какой-либо склоновой территории, для анализа структуры и величины риска, для выявления зон риска и оценки уровня оползневой безопасности? Здесь надо учесть все официальные публикации по каждому методу. А это чрезвычайно сложная и, в общем-то,

субъективного характера задача. По этой причине для объективности будем полагать значения весов P_{5-j} :

- $P_{5-1} = 0,25$ – метод был применен один раз;
- $P_{5-2} = 0,50$ – метод применялся два раза к различным склонам;
- $P_{5-3} = 0,75$ – метод применялся три раза;
- $P_{5-4} = 1,00$ – метод применялся более трех раз.

6. Практичность P_6 .

Это наиболее неопределенный параметр, так как неизвестны истинные затраты на весь цикл работ этих методов (разработка, внедрение, апробация). Объективно можно судить о нем по стоимости оборудования, которое задействовано в реализации конкретного метода. По этой причине для данного параметра используем следующую шкалу значений весов P_{6-j} :

- $P_{6-1} = 0,1$ – использована аэрокосмическая техника;
- $P_{6-2} = 0,4$ – использовано дорогостоящее лабораторное оборудование, в том числе и стационарное;
- $P_{6-3} = 0,7$ – использованы компьютерные комплексы и лабораторное оборудование;
- $P_{6-4} = 1,0$ – использован один компьютерный базовый комплект.

Принятые выше линейки шкалы весов P_{i-j} для различных параметров P_i представим в табл. 1.

Представим указанные выше численные значения весов P_{i-j} для

каждого параметра P_i как случайный вектор-строку $\|P_i\|$ и рассчитаем модуль вектора результативности V_{res} по следующей формуле [12]:

$$|V_{res}| = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_{i-j}^2}{\sum_{i=1}^n (\max P_{i-j})^2}}, \quad (2)$$

где $n = 6$ (количество параметров) для нашего случая.

Так как для сравнительного анализа методов целесообразно рассчитывать относительную результативность метода и при этом максимальное значение параметров $\max P_i=1$, то тогда

$$|\max V_{res}| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\max P_{i-j})^2} = \sqrt{n},$$

то есть максимальная абсолютная результативность метода составит $|\max V_{res}| = \sqrt{n}$. Тогда формула (2) примет вид:

$$|V_{res}| = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_{i-j}^2}{n}}. \quad (3)$$

На основании численного метода нами выполнен по формуле (3) собственно сам сравнительный анализ результативности применения нескольких методов, которые были рассмотрены выше, т.е. было выполнено тестирование разработанного численного метода (см. табл. 2 и рис. 1 – 11).

Таблица 1.

Характеристики оценочных параметров, используемые для сравнительного анализа результативности существующих методов оценки оползневых опасностей

| № п/п | Оценочные параметры и их условные обозначения P_i | Краткая характеристика параметра | Веса значений параметра (или расчетная формула) $P_{i,j}$ |
|-------|---|--|--|
| 1. | Надежность (P_1) | Результаты оценки и последующие выводы должны соответствовать реальным условиям по исследуемым территориям с как можно большей достоверностью. | $P_i = \frac{S}{S_0},$ S – площадь оползневого тела; S_0 – площадь всего склона. |
| 2. | Эффективность (P_2) | Параметр определяет эффективность метода, то есть достижение в наиболее короткие сроки однозначного результата. | 0,00 – использование результатов невозможно; 0,25 – результаты неоднозначны, получены за продолжительный период времени, но можно их использовать; 0,50 – результаты неоднозначны, получены за небольшой промежуток времени, но можно их использовать; 0,75 – результаты однозначны, но получены за продолжительный период времени; 1,00 – результаты однозначны, но получены за небольшой промежуток времени. |
| 3. | Совокупность (P_3) | В качестве исходных данных используются определенное количество характеристик окружающей среды. | 0,2 – одна входная характеристика; 0,4 – две или три входные характеристики; 0,6 – четыре или пять входных характеристик; 0,8 – шесть или семь входных характеристик; 1,0 – более семи входных характеристик. |
| 4. | Аналитичность (P_4) | Выполнимость физического либо математического моделирования. | 0,0 – методы отсутствуют; 0,5 – применяется один из видов моделирования; 1,0 – применяются оба вида моделирования. |
| 5. | Используемость (P_5) | Учитываются только официально выполненные работы. | $P_5 = 0,25k,$ k – количество применений метода к различным склоновым территориям. |
| 6. | Практичность (P_6) | Размер затрат на разработку, внедрение и применение метода. | 0,1 – использована аэрокосмическая техника; 0,4 – использовано дорогостоящее лабораторное оборудование; 0,7 – использованы компьютерные комплексы и лабораторное оборудование; 1,0 – использован один компьютерный базовый комплект. |

Таблица 2.

Количественные значения параметров сравнительного анализа результативности существующих методов оценки оползневых опасностей

| Оценочные параметры P_i | Обозначения параметров | Название метода | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------------------|--|----------|-----------------------------|------------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| | | оценки проявления оползневых процессов | аналогий | геодинамического потенциала | регрессионного анализа | анализа ритмичности | статистического анализа оползневых | многомерной статистики | математического моделирования |
| Надежность | $P_1 =$ | 0,50 | 0 | 0,40 | 0,50 | 0 | 0 | 0,70 | 0,90 |
| Эффективность | $P_2 =$ | 1,00 | 0,75 | 0,25 | 0,75 | 0 | 0 | 0,75 | 1,00 |
| Совокупность | $P_3 =$ | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,40 | 0,40 | 0,20 | 1,00 |
| Аналитичность | $P_4 =$ | 1,00 | 0,50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,00 |
| Используемость | $P_5 =$ | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 1,00 | 0 | 0,25 | 0,25 | 1,00 |
| Практичность | $P_6 =$ | 0,70 | 0,40 | 0,40 | 0,70 | 0,40 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Относительная результативность метода | V_{res} | 0,78 | 0,61 | 0,52 | 0,74 | 0,23 | 0,45 | 0,60 | 0,98 |

Значения параметров P_i ($i = 1, \dots, 6$) для приведенных в табл. 2 методов оценки оползневой опасности в склоновых системах, определены нами на основе градации диапазонов значений весов P_{i-j} , которые были рассмотрены выше, исходя из содержательных описаний методов в работах [1], [2], [3], [4], [7], [8], [9], [10], [13], [14].

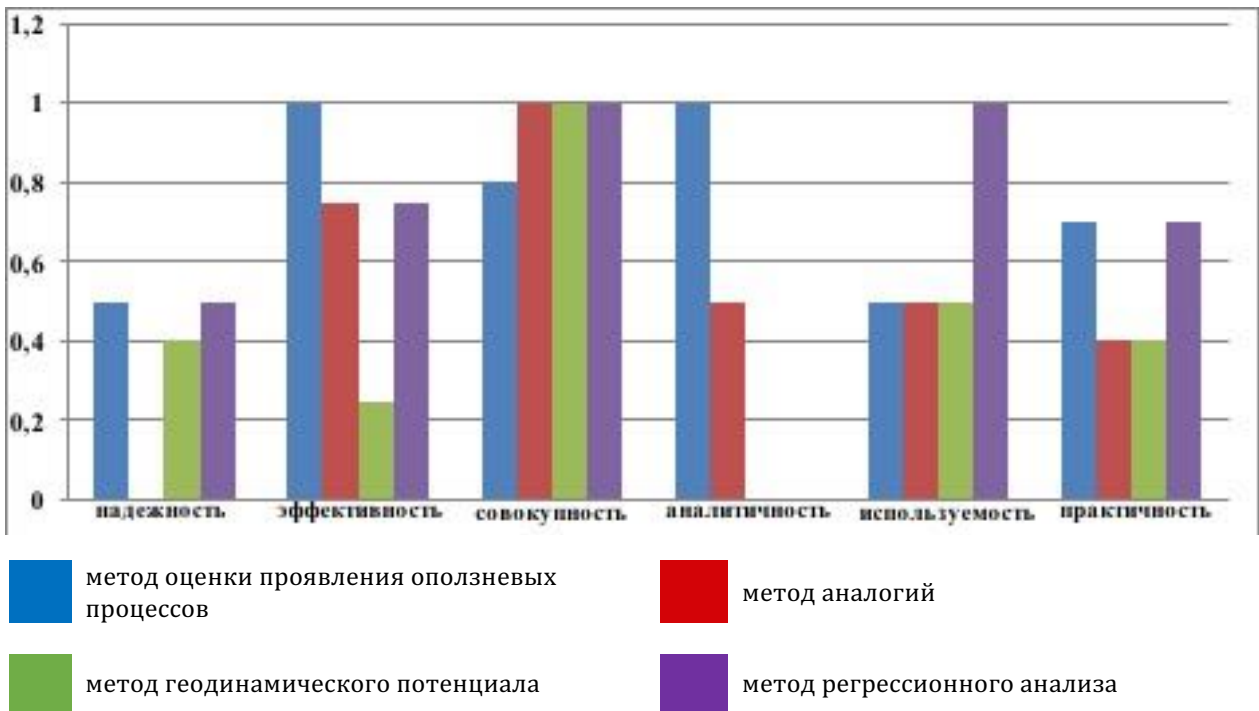


Рис. 1. Сравнительная диаграмма характеристик ОЦЕНОЧНЫХ параметров метода оценки проявления оползневых процессов, метода аналогий, метода геодинамического потенциала и метода регрессионного анализа

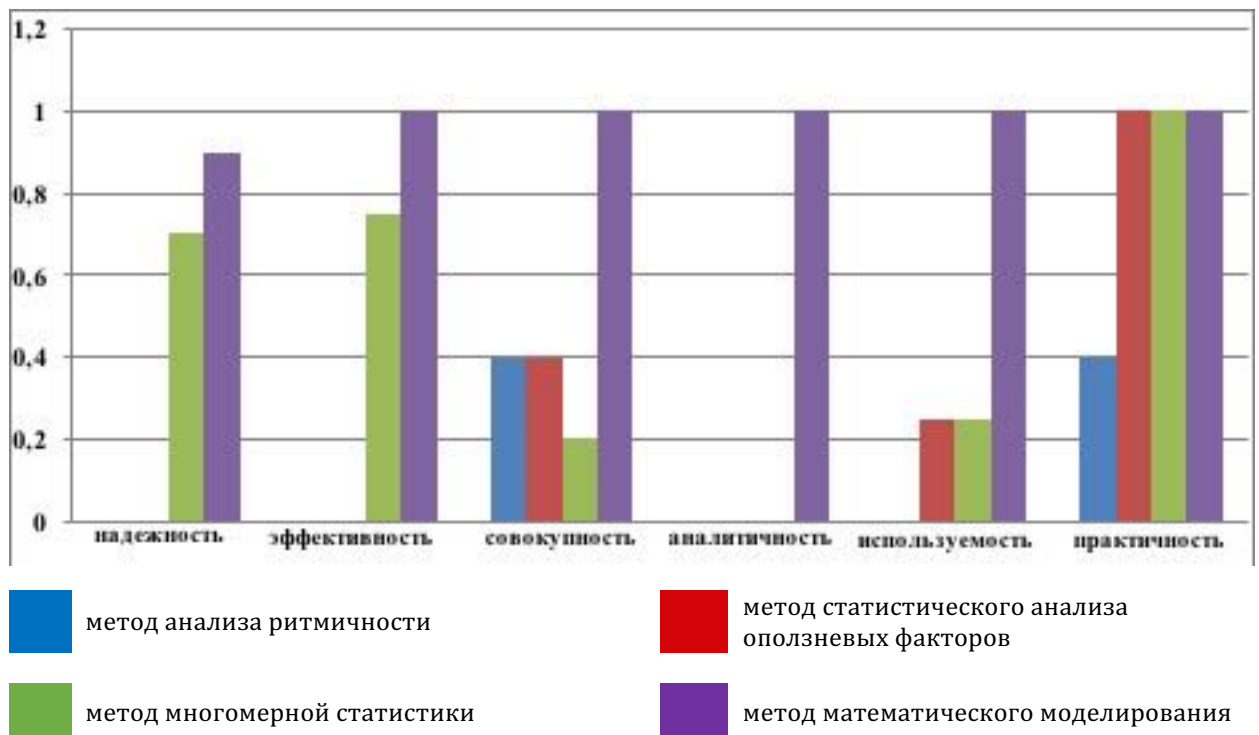


Рис. 2. Сравнительная диаграмма характеристик ОЦЕНОЧНЫХ параметров метода анализа ритмичности, метода статистического анализа оползневых факторов, метода многомерной статистики и метода математического моделирования



Рис. 3. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода оценки проявления оползневых процессов

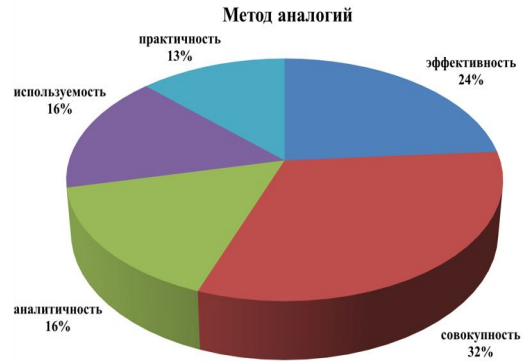


Рис. 4. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода аналогий

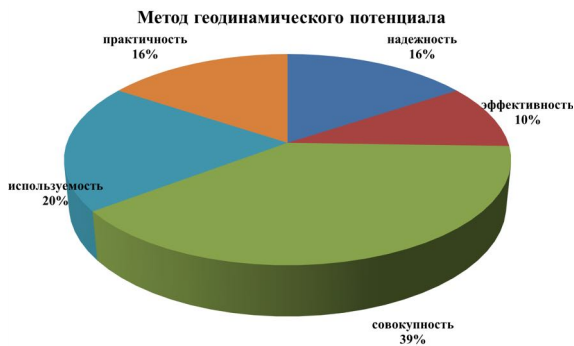


Рис. 5. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода геодинамического потенциала



Рис. 6. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода регрессионного анализа



Рис. 7. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода анализа ритмичности



Рис. 8. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода статистического анализа оползневых факторов



Рис. 9. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода многомерной статистики



Рис. 10. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода математического моделирования

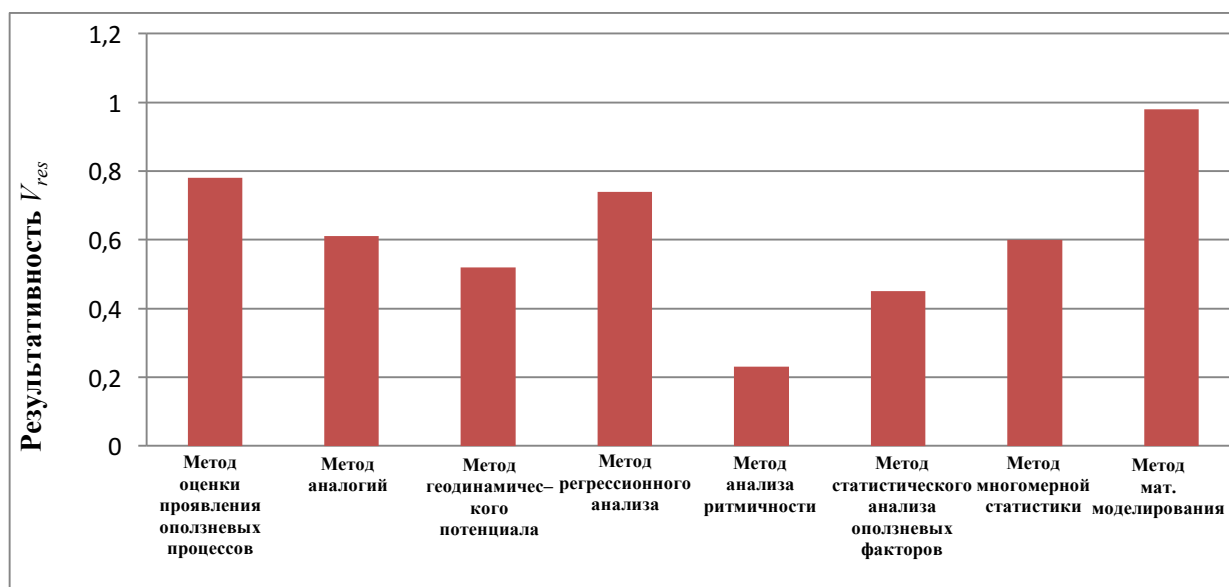


Рис. 11. Сравнительная результативность методов оценки и прогноза оползневых процессов

Таким образом, предлагаемый нами численный метод по сравнительному анализу оценки опасностей и рисков оползневых процессов, которые влияют на безопасность склоновых систем, позволяет достаточно рационально выполнять оценку их результативности. Результаты тестирования показали, что метод математического моделирования в склоновых системах является наиболее предпочтительным для

оценки опасностей и рисков оползневых процессов.

Литература

1. Гулакян К.А., Кюнцель В.В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. М.: Недра, 1977. – 135 с.
2. Емельянова Е.П. Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноза оползней. М.: Недра, 1971. – 103 с.
3. Золотарев Г.С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов и значение истории их формирования для оценки устойчивости / Труды ЛГТП АН СССР. 1961. – Т. 35.

4. Зыонг М.Х., Фоменко И.К., Пендин В.В. Региональный прогноз оползневой опасности для района Ха Лонг – Кам Фа на северо-востоке Вьетнама / М.Х. Зыонг, И.К. Фоменко, В.В. Пендин // Журнал "Инженерная геология", Инженерная геология, №1, 2013. – С. 46 – 54.
5. Калинин Э.В. Инженерно-геологические расчеты и моделирование. М.: Издательство Московского университета, 2006. – 256 с.
6. Кюнтцель В.В. Закономерности оползневой опасности на Европейской территории СССР. – М.: Недра, 1980. – 267 с.
7. Пендин В.В. Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии. М.: КДУ, 2009. – 350 с.
8. Пендин В.В. Изоморфизм и изомерность инженерно-геологических условий. Геоэкология, № 1, 1994. – С. 44 – 48.
9. Пендин В.В., Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. М.: ЛЕНАНД, 2015. 320 с.
10. Розовский Л.Б. Введение в теорию геологического подобия и натурального моделирования. М.: Недра, 1969. – 128 с.
11. Симонян В.В. Численный метод сравнительного количественного анализа результативности методов оценки опасных оползневых процессов. В сборнике Международной научно-практической конференции «Современные проблемы инновационного развития науки» (23 июня 2017 г., Волгоград) в 3 ч. Уфа, 2017. С. 87 – 97.
12. Фаддеев А.О. Математическое моделирование и методы оценки рисков в территориальных системах, подвергающихся воздействию геодинамических факторов. Дисс. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. – М.: 2011. – 432 с.
13. Фоменко И.К. Математическое моделирование напряженного состояния инженерно-геологического массива, сложенного анизотропными горными породами. Дисс. канд. геол. минер. наук. Москва. 2001. 138 с.
14. Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности / Дисс. на соискание уч. ст. докт. г-м наук. – М.: 2014. – 320 с.
15. Duncan J. Michael. Discussion of "Probabilistic slope stability analysis for practice" / Michael Duncan J., Michael Navin, Thomas F. Wolff // Can. Geotech. J. - 2003. - Vol. 40. - P. 848-850.
16. El-Ramly H. Probabilistic slope stability analysis for practice / H. El-Ramly, N. R. Morgenstern, D. M. Cruden // Can. Geotech. J. - № 39. - 2002. - Pp. 665-683.
17. Lee C.T., Huang C.C., Lee J.F., Pan K.L., Lin M.L., Dong J.J. "Statistical approach to earthquake-

induced landslide susceptibility", Engineering Geology, Vol. 100, 2008. – pp. 43 – 58.

References

1. Gulakyan K.A., Kuntzel V.V., Postoev G.P. Forecasting landslide processes. Moscow: Nedra, 1977. - 135 p.
2. Yemelyanova E.P. Comparative method for assessing the stability of slopes and the forecast of landslides. M.: Nedra, 1971. - 103 p.
3. Zolotarev G.S. Engineering-geological study of coastal slopes and the significance of the history of their formation for the assessment of sustainability / Proceedings of the Leningrad State Technical University of the USSR. 1961. - T. 35.
4. Zyong M.Kh., Fomenko I.K., Pendin V.V. Regional forecast of landslide hazard for the Ha Long-Kam Fah region in the northeast of Vietnam / M.Kh. Zyong, I.K. Fomenko, V.V. Pendin // Journal of Engineering Geology, Engineering Geology, No. 1, 2013. - P. 46-54.
5. Kalinin E.V. Engineering-geological calculations and modeling. Moscow: Publishing house of Moscow University, 2006. - 256 p.
6. Kuntzel V.V. Regularities of the landslide process in the European territory of the USSR. - Moscow: Nedra, 1980. - 267 p.
7. Pendin V.V. Complex quantitative analysis of information in engineering geology. M.: KDU, 2009. - 350 with.
8. Pendin V.V. Isomorphism and isomerism of engineering-geological conditions. Geoecology, No. 1, 1994. - P. 44 - 48.
9. Pendin V.V., Fomenko I.K. Methodology of landslide hazard assessment and forecast. Moscow: LENDAN, 2015. 320 p.
10. Rozovsky, L.B. Introduction to the theory of geological similarity and full-scale modeling. M.: Nedra, 1969. - 128 p.
11. Simonyan V.V. Numerical method of comparative quantitative analysis of the effectiveness of methods for assessing dangerous landslide processes. In the collection of the International Scientific and Practical Conference "Modern Problems of Innovative Development of Science" (June 23, 2017, Volgograd) at 3 pm Ufa, 2017. P. 87 - 97.
12. Faddeev A.O. Mathematical modeling and methods of risk assessment in territorial systems exposed to geodynamic factors. Diss. for the competition uch. Art. Doct. tech. sciences. - M.: 2011. - 432 c.
13. Fomenko I.K. Mathematical modeling of the stressed state of an engineering-geological massif composed of anisotropic rocks. Diss. Cand. geol. miner. sciences. Moscow. 2001. 138 pp.
14. Fomenko I.K. Methodology of assessment and forecast landslide hazard / Diss. for the

competition uch. Art. Doct. Mr. of Sciences. - Moscow: 2014. - 320 p.
 15. Duncan J. Michael. Discussion of "Probabilistic slope stability analysis for practice" / Michael Duncan J., Michael Navin, Thomas F. Wolff // Can. Geotech. J. - 2003. - Vol. 40. - P. 848-850.
 16. El-Ramly, H., Probabilistic slope stability analysis for practice (H. El-Ramly, N. R. Morgenstern, D. M.

Cruden, Can. Geotech. J. - No. 39. - 2002. - Pp. 665-683.
 17. Lee C.T., Huang C.C., Lee J.F., Pan K.L., Lin M.L., Dong J.J. "A statistical approach to earthquake-induced landslide susceptibility", Engineering Geology, Vol. 100, 2008. - pp. 43 - 58.



COMPARATIVE ANALYSIS OF NUMERICAL CRITERIA PERFORMANCE OF THE METHODS EVALUATING HAZARDOUS LANDSLIDE PROCESSES

| | |
|---|---|
| Vladimir Simonyan | Galina Nikolaeva |
| PhD, associate Professor, associate Professor, Institute of Hydraulic Engineering and Power Plant Construction, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) | Student, Institute of Environmental Engineering and Mechanization, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) |
| Адрес: 129337 г. Москва, Ярославское шоссе, 26. E-mail: simonyan.vladimir55@gmail.com | Адрес: 129337 г. Москва, Ярославское шоссе, 26. E-mail: galina-nikolaeva-97@mail.ru |

Abstract. *The article presents existing methods of regional and local prognosis of hazardous landslide processes with the aim of translating these techniques into mathematical language to identify the most preferred ones. It is concluded that for the selection of the optimal method of assessing threat of landslide processes, the comparative analysis is insufficient. It is necessary to develop a numerical method for the comparative quantitative analysis of the effectiveness of these methods. To perform a quantitative analysis of the effectiveness of existing methods of assessing threat of landslide processes established the following evaluation parameters: 1) reliability; 2) efficiency; 3) collection; 4) analyticity; 5) usability; 6) practicality. For each evaluation parameter the ranges of parameters (weights) of the P_i that belong to the segment $[0; 1]$ and the analysis of the variation ranges of these parameters. The accepted range of scales, the weights P_{i-j} for the various P_i parameters shown in the table "Characteristics of the evaluation parameters used for the comparative analysis of the effectiveness of existing methods of assessment of landslide hazards". Introducing the numerical values of the weights P_{i-j} for each parameter P_i as a random row vector, calculated relative performance of each method V_{res} . On the basis of numbers provided a method of comparative analysis of the effectiveness of existing methods, i.e., the performed testing of the developed numerical method. The test results are given in the table of "Quantitative values of the parameters of comparative analysis of effectiveness of existing methods of assessing landslide hazards". For all methods corresponding chart of the structural distribution of parameters characterizing the performance of a method of assessing the manifestation of landslide processes, as well as a chart of the comparative performance of the methods of assessment and forecast of landslide processes. The proposed numerical method in comparative analysis of assessing hazards and risks of landslide processes, allows you to rationally evaluate their impact. The test results can be inconclusive, that of all existing methods the method of mathematical modeling is the most preferred for assessing the hazards and risks of landslides.*

Key words: *landslide, forecasting, analysis, methods, results, parameters, performance, testing.*

© Симонян В.В., Николаева Г.А., 2017