

ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВЫХ РИСКОВ И БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ

Симолян В.В.

(НИУ МГСУ, г. Москва)

Аннотация. Рассматриваются вопросы определения степени оползневой опасности и безопасности зданий и сооружений по данным скоростей движения оползня, полученных по результатам геодезического мониторинга. Для технического диагностирования состояний зданий предлагается определять крены зданий, вычисленные по данным геодезического мониторинга, в зависимости от скорости смещения оползней с добавлением еще одной категории технического состояния – «предаварийного». Тогда для определения степени оползневой опасности нужно вычислить вероятность наступления неблагоприятного события (технического состояния здания) в зависимости от скорости движения оползня и величину возможного ущерба, причиненного зданию, в связи с неблагоприятным событием.

Ключевые слова: оползень, риск, безопасность, скорость, прогноз, обследование, техническое состояние, стоимость, ущерб, аппроксимация.

Изучение оползневых процессов всегда было и остаётся чрезвычайно актуальной проблемой в хозяйственной деятельности и, особенно, в области строительного производства. Из-за возможных оползневых подвижек грунта на склонах появляется опасность нарушения устойчивости зданий и сооружений в результате чего они теряют способность к выполнению своих естественных функций. МЧС России ежегодно фиксирует уже случившиеся оползни и прогнозирует возможные проявления оползней на всей территории нашей страны. Не случайно, поэтому, оползневые процессы являются предметом всесторонних теоретических исследований [1,2,5-10].

Важной составной частью алгоритма комплексной оценки оползневых рисков является определение оценки степени оползневой опасности и уровня оползневой безопасности сооружений от возможных проявлений оползневых процессов ($S_{оп}$) [1,11-14]. Рассмотрим данную процедуру (для удобства анализа этого вопроса) в обратном порядке.

Условие оползневой безопасности $S_{оп}$ сооружений рассчитывается по формуле:

$$S_{оп} = 1 - R_{оп}, \quad (1)$$

где $R_{оп}$ – степень оползневой опасности ($r_{оп} \in [0;1]$).

Формула (1) показывает, что оценка уровня оползневой безопасности сводится к задаче определения степени оползневой опасности для зданий и сооружений. Эта задача должна решаться исключительно на основании комплексного анализа всех возможных негативных воздействий на эти строительные объекты со стороны оползневых процессов.

Техническое состояние здания или его конструктивных элементов при проведении обследования зданий – состояние, которое определяет, в какой стадии безопасности находится обследуемое здание или сооружение. Основными параметрами для контроля технического состояния здания с точки зрения геодезии являются: пространственная жесткость здания (геометрические параметры), общая и местные деформации (сдвиги и осадки), крены. Именно фактические значения количественных характеристик определяют техническое состояние здания, которое определяется при проведении его комплексного инженерно-технического обследования. Особенно важно проведение обследований и постановка диагноза состояний после разного рода техногенных и природных воздействий (оползни, землетрясения, пожары и т.п.).

Важность ведения обследовательской деятельности и актуальность проводимых в ее рамках работ подтверждается [3] и [4]. Состояние зданий и сооружений предлагается оценивать на основе рассмотрения четырех категорий:

- нормативное техническое состояние;
- работоспособное техническое состояние;
- ограниченно-работоспособное техническое состояние;
- аварийное состояние.

Для решения задач по определению достоверной картины технического состояния здания в целом, предлагается использовать геодезические методы по определению крена зданий, вычисленные по данным геодезического мониторинга, в зависимости от скорости смещения оползней с добавлением еще одной категории технического состояния – «предаварийного». За каждой категорией после ее присвоения должен стоять комплекс конкретных, четких, понятных и реальных, научно обоснованных мероприятий по приведению здания в исправное эксплуатационное состояние. Этот комплекс мероприятий определяет также уровень затрат на их реализацию (затраты средств, времени и сил).

В табл.1 приведены значения кренов для зданий и сооружений для решения задач по определению достоверной картины технического состояния здания в зависимости от скорости смещения оползней.

Таблица 1

Диагностическая матрица для деформаций основания фундаментов зданий в зависимости от скорости

Сооружения	Скорость, м/год				
	$v = 0$ (нормальное)	$v = 0,06$ (работоспособное)	$v = 1,5$ (ограниченно-работоспособное)	$v = 10$ (предаварийное)	$v = 18$ (аварийное)
	Крен				
Производственные и гражданские одноэтажные и многоэтажные с полным каркасом: - железобетонным; - то же, с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий, а также здания монолитной конструкции	0	0,0005	0,001	0,0015	0,002
	0	0,00075	0,0015	0,0022	0,003
	0	0,001	0,002	0,003	0,004
	0	0,00125	0,0025	0,0038	0,005
Здания и сооружения, в конструкциях которых не возникают условия от неравномерных осадок	0	0,0015	0,003	0,0045	0,006
Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из: - крупных панелей - крупных блоков или кирпичной кладки без ар-	0	0,0004	0,0008	0,0012	0,0016
	0	0,0005	0,0010	0,0015	0,0020

мирования - то же, с армированием, в том числе с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий, а также здания монолитной конструкции	0	0,0006	0,0012	0,0018	0,0024
Жесткие сооружения высотой до 100 м	0	0,001	0,002	0,003	0,004

Риск можно рассчитать по формуле

$$R = P(v) \cdot D, \quad (2)$$

где $P(v)$ – вероятность наступления неблагоприятного события (технического состояния здания) в зависимости от скорости движения оползня;

D – величина возможного ущерба, причиненного зданию, в связи с неблагоприятным событием.

Как получить значения величин $P(v)$ и D ?

По данным скоростей движения оползня и кренов зданий в каждом цикле наблюдений, получаемых по результатам геодезического мониторинга, уточняем категорию технического состояния зданий. Строим график кривой скорости и аппроксимируем ее соответствующим уравнением регрессии, которая с каждым циклом будет уточняться. Экстраполируя на определенный период времени получаем возможные скорости движения оползня и крена зданий и определяем категорию состояния зданий. Тогда

$$P(v) = \frac{v_{\text{тек}}}{v_{\text{прог}}}, \quad (3)$$

где $v_{\text{тек}}$ – текущая скорость оползня;

$v_{\text{прог}}$ – прогнозная скорость оползня.

В результате проведенного технического обследования здания составляем смету на выполнение защитных мероприятий (усиление фундаментов, противооползневые мероприятия и др.). Зная стоимость здания, можно рассчитать возможный ущерб по формуле

$$D = \frac{D_d(v)}{D_e}, \quad (4)$$

где $D_d(v)$ - стоимость защитных работ (руб.);

D_e - стоимость сооружения (руб.).

Рассчитав риск по формуле (2), можно по формуле (1) рассчитать безопасность зданий.

Рассмотрим следующий пример. С моделируем возрастание скорости оползня в течении нескольких лет. Результаты скоростей, полученных по данным геодезического мониторинга, показаны в табл. 2.

Таблица 2

Скорость оползня

t , год	1	2	3	4	5
v , м/год	0,251	0,634	1,337	2,279	3,550

По результатам мониторинга, являющихся исходными для анализа изучаемого процесса на данном склоне, возникает вопрос об их аппроксимации, то есть в отыскании оптимальной функциональной закономерности рядов скоростей.

При методе аналитического подбора функции используем метод наименьших квадратов. Сущность метода наименьших квадратов состоит в отыскании параметров функции, минимизирующих ее отклонение от точек исходного временного ряда ($\sum \Delta^2 = \min$). Такими функциями, которые соответствуют физической сущности рассматриваемого процесса, являются степенная и полиномиальная.

Для каждого из этих видов зависимостей найдем уравнения регрессии и их графики, используя программное обеспечение «Excel 2013».

Степенная аппроксимация и уравнение регрессии выглядит следующим образом (рис. 1):

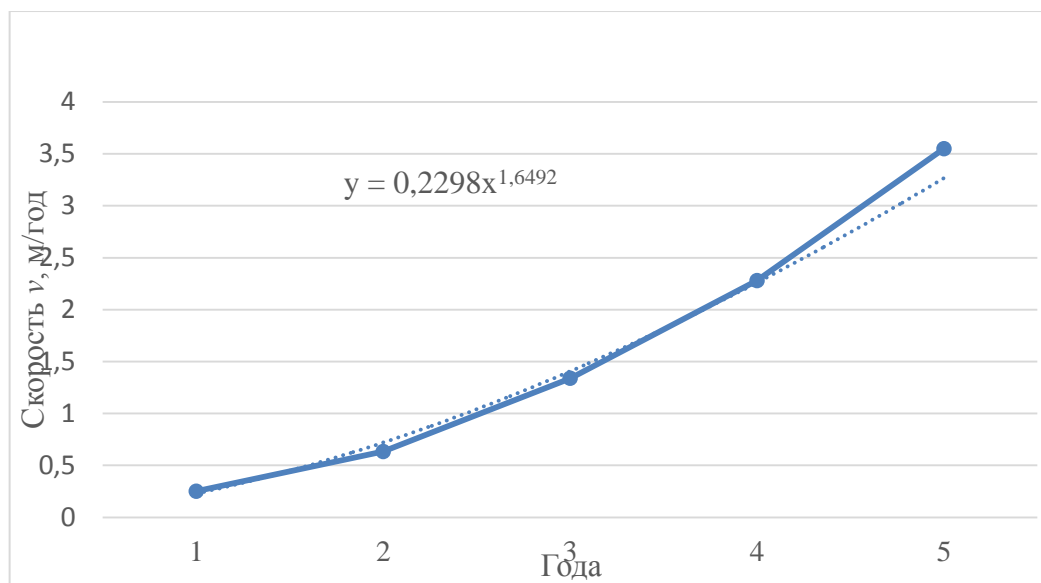


Рис. 1. Степенная аппроксимация

Полиномиальная аппроксимация второй степени и уравнение регрессии выглядит следующим образом (рис. 2):

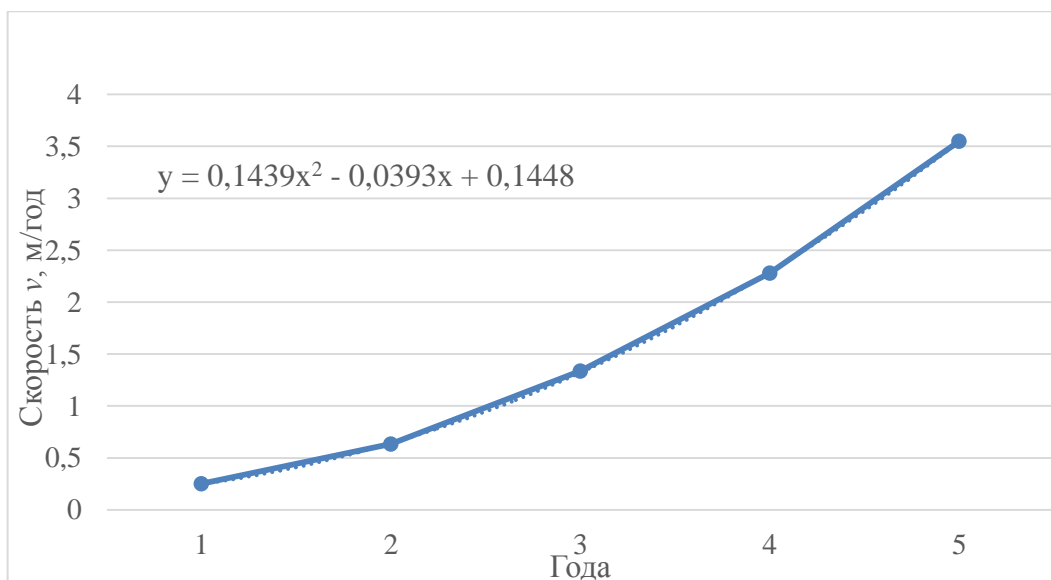


Рис. 2. Полиномиальная аппроксимация

Выполним оценку точности интерполяции этих уравнений. Подставим данные скоростей v из табл. 2 в полученные уравнения, вычислим разности Δ между вычисленным значением $y_{\text{выч}}$ и исходным, а затем Δ^2 , которые дают следующие значения (см. табл. 3 и 4):

Таблица 3

Степенная аппроксимация

$y_{\text{выч}}$	0,230	0,721	1,408	2,261	3,267
y	0,251	0,634	1,337	2,279	3,550
$\Delta = y_{\text{выч}} - y$	-0,021	+0,087	+0,071	-0,018	-0,283
Δ^2	0,000441	0,007569	0,005041	0,000324	0,080089

$$\sum \Delta^2 = 0,093464 \text{ м}^2.$$

Среднеквадратическая погрешность (СКП) интерполяции будет:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,093464}{5-1}} = 0,153 \text{ м}.$$

Таблица 4

Полиномиальная аппроксимация

$y_{\text{выч}}$	0,249	0,642	1,322	2,290	3,546
y	0,251	0,634	1,337	2,279	3,550
$\Delta = y_{\text{выч}} - y$	-0,002	+0,008	-0,015	+0,011	-0,004
Δ^2	0,000004	0,000064	0,000225	0,000121	0,000016

$$\sum \Delta^2 = 0,000430 \text{ м}^2.$$

СКП интерполяции будет:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,000430}{5-1}} = 0,010 \text{ м}.$$

Таким образом, получается, что наиболее достоверной является функция, полученная по полиномиальной зависимости.

Выполним экстраполяцию на период через четыре года. Получим возможную скорость движения оползня, равную 11,447 м/год (рис. 3):

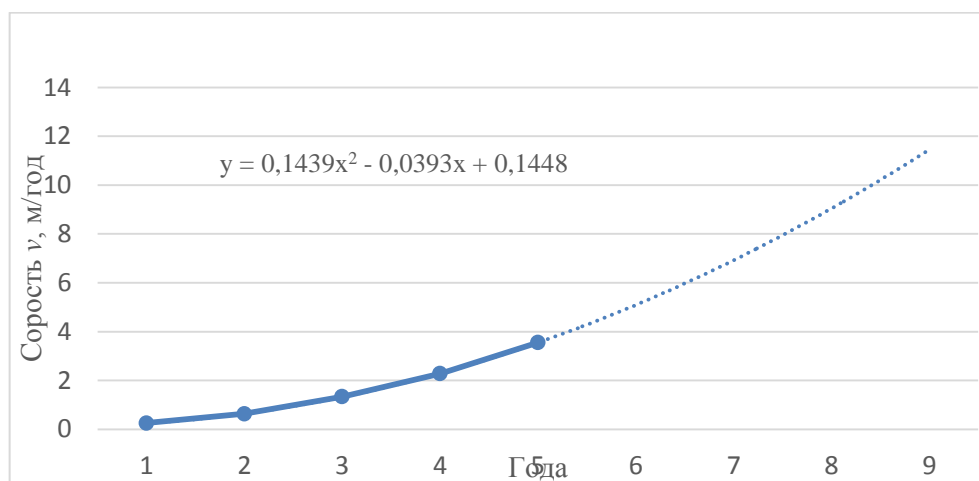


Рис. 3. Экстраполяция полиномиальной аппроксимации

При такой скорости находим крен здания и определяем категорию состояния здания по табл. 1 – «предаварийное». Тогда

$$P(v) = \frac{3,550}{17,124} = 0,21$$

Вероятный ущерб D , который может быть причинен зданию, от события равен 0,7. Следовательно,

$$R_{\text{оп}} = 0,21 \cdot 0,7 = 0,15,$$

а безопасность

$$S_{\text{оп}} = 0,85.$$

Если на данном этапе не предпринимать какие-либо меры по защите здания, то через год при скорости $v = 5,089$ м/год, будем иметь

$$P(v) = \frac{5,089}{17,124} = 0,30$$

$$R_{\text{оп}} = 0,30 \cdot 0,7 = 0,21$$

$$S_{\text{оп}} = 0,79.$$

Таким образом, при увеличении скорости оползневых смещений, риск с каждым годом будет увеличиваться при уменьшении безопасности зданий.

Литература

1. Безуглова Е.В. Оценка и управление оползневым риском транспортных природно-технических систем черноморского побережья Кавказа. Дис. на соискание ученой степени д.г.-м.н. Краснодар: 2014. – 277 с.
2. Бобрович А.С. Математическое определение запаса устойчивости оползневых объектов. Дис. на соискание ученой степени к.т.н. М.: 2008. – С. 147.
3. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Общие требования [Текст] / Введ. 2011-01-01. - М.: Стандартинформ, 2010. - 66 с.
4. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Текст] / Введ. 2012-04-01. - М.: ГУП МНИИТЭП, 2011. - 89 с.
5. Кузнецов А.И. Разработка метода определения поверхности скольжения оползня по данным геодезического мониторинга. Дис. на соискание ученой степени к.т.н. М.: 2012. – 184 с.
6. Павловская О.Г. Анализ и оценка по геодезическим данным динамики оползней в условиях проведения взрывных работ и разгрузки склонов. Дис. на соискание ученой степени к.т.н. Новосибирск, 2012. – 146 с.
7. Симонян В.В. Обоснование точности и разработка методов математико-статистического анализа геодезических наблюдений за смещениями оползней / В.В. Симонян // Диссертация на соиск. уч. ст. к.т.н. М.: 2008. – 182 с.
8. Симонян В.В. Изучение оползневых процессов геодезическими методами: монография / В.В. Симонян; 2-е изд. М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. М.: МГСУ, 2015. – 176 с.
9. Фоменко И.К. Современные тенденции в расчетах устойчивости склонов. Инженерная геология, №6, 2012. С. 44–53.
10. Экзогенные геологические опасности. Тематический том / Под ред. В.М. Кутепова, А.И. Шеко. – М.: Издательская фирма «КРУК», 2002. – 348 с.
11. Abramson L.W., Lee T.S., Sharma S. and Boyce G.M. Slope Stability and Stabilization Methods. New York: John Wiley & Sons, 2002. – 736 p.
12. Australian Geomechanics Society. Practice note guidelines for landslide risk management 2007. Australian Geomechanics. - 2007. - Vol. 42. - No 1. -P. 63-114.
13. HuseinMalkawi A. I. Uncertainty and reliability analysis applied to slope stability / A. I. Malkawi, W. F. Hassan, F. A. Abdulla // Structural Safety. -2000.-№22.-P. 161-187.
14. Practice note guidelines for landslide risk management // Australian Geomechanics Journal. Australian Geomechanics Society (AGS), 2007. - V. 42. -№1. -P. 63-114.