Гавриленко Т.В., Иванова О.А. Применение вероятностного подхода к оценке надёжности основания насыпи в северной климатической зоне / Т.В. Гавриленко, О.А. Иванова // Национальная ассоциация ученых (НАУ): научно-технический журнал [Электронный ресурс]. – 2020. – № 54. – С. 15-17. Режим доступа: https://national-science.ru/primenenie-veroyatnostnogo-podxoda-k-ocenke-nadyozhnosti-osnovaniya-nasypi-v-severnoj-klimaticheskoj-zone-15-17

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ НАДЁЖНОСТИ ОСНОВАНИЯ НАСЫПИ В СЕВЕРНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Гавриленко Татьяна Валентиновна
канд. техн. наук, доцент
Сибирский федеральный университет
г. Красноярск
Иванова Ольга Анатольевна
магистрант
Сибирский федеральный университет
г. Красноярск

APPLICATION OF A PROBABLE APPROACH TO EVALUATION RELIABILITY OF EMBANKMENT BASE IN NORTH CLIMATE ZONE

Gavrilenko Tatyana
Candidate of Science, associate professor
Siberian Federal University, Krasnoyarsk
Ivanova Olga
Undergraduate
of Siberian Federal University, Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

Обосновывается необходимость применения вероятностного подхода к оценке устойчивости насыпи в зоне распространения многолетнемёрзлых грунтов. Сформулированы критерии отказа земляного полотна, проектируемого по второму принципу. Предложены пути вычисления количественной оценки безотказной работы сооружения.

ABSTRACT

The necessity of applying a probabilistic approach to the assessment of the stability of the embankment in the zone of permafrost. The criteria for failure of the roadbed, designed according to the second principle, are formulated. Proposed ways to calculate the quantitative assessment of the failure-free operation of the structure.

Ключевые слова: основание насыпи, устойчивость откосов, второй принцип проектирования, многолетнемёрзлые грунты, критерии отказа, вероятность безотказной работы

Keywords: embankment base, stability of slopes, second principle of design, permafrost soils, failure criterion, reliability function

Возведение земляного полотна автомобильных дорог в зоне распространения многолетнемёрзлых грунтов приводит к изменению мерзлотно-грунтовых условий в основании насыпи. В результате оттаивания мёрзлых грунтов может происходить неравномерная осадка земляного полотна, вызывающая нарушение устойчивости земляного полотна и деформацию дорожной одежды [4,7,9]. Данные события приводят к отказу автомобильной дороги – потере способности сооружения выполнять требуемую функцию, т. е. невозможности обеспечить безопасное движение автомобильного транспорта с заданной расчётной скоростью.

Известно, что в зоне распространения многолетнемёрзлых грунтов применяют три принципа проектирования земляного полотна [9]. Первый принцип предусматривает сохранение основания насыпи в мёрзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации дороги. Второй допускает частичное оттаивание грунта под подошвой насыпи. А при использовании третьего принципа предусматривается возведение насыпи после предварительного оттаивания многолетнемёрзлых грунтов и их осушения в пределах дорожной полосы. В зависимости от применяемого принципа проектирования земляного полотна могут быть сформулированы различные критерии отказа сооружения. В соответствии с [5] критерий отказа – это заранее оговорённые признаки нарушения работоспособного состояния, по которым принимают решение о факте наступления отказа.

При проектировании земляного полотна по второму принципу его общую устойчивость оценивают по трём критериям [9]. Первый критерий заключается в оценке разности величин осадки основания насыпи по двум створам. В этом случае отказом сооружения будет считаться событие, когда

$$h_{\text{доп}} < \left|\Delta S_{\text{осн}}\right| , \qquad (1)$$

где $\Delta S_{\text{осн}}$ – разность осадок основания насыпи в вертикальных сечениях, проведённых по бровке земляного полотна и в средней части откоса; $h_{\text{доп}}$ – предельно допустимое значение разности осадок, равное 10 см.

Второй критерий накладывает ограничения на величину суммарной осадки сооружения. Отказом сооружения считается событие, при котором

$$S_{доп} < S, \tag{2}$$

где S – суммарная осадка насыпи и основания; $S_{доп}$ – допускаемая величина осадки, зависящая от типа дорожной одежды, условий её устройства, толщины нестабильных слоёв насыпи, а также принципа проектирования земляного полотна. Значения $S_{доп}$ приведены в [9].

Третий критерий заключается в оценке формы ореола оттаивания. Для обеспечения устойчивости насыпи необходимо, чтобы форма ореола оттаивания был выпуклой вверх, при этом граница между мёрзлой и талой зонами имела бы пологое очертание [9]. Тогда отказом будет считаться вогнутая (выпуклостью вниз) форма ореола оттаивания. В этом случае также можно математически сформулировать критерий отказа. Для этого обозначим участок, на котором возникает ореол оттаивания, отрезком [a; b]. Пусть $f(x)$ – функция, аппроксимирующая границу между талым и мёрзлым грунтом, аргумент которой принадлежит этому отрезку, т. е. $a \le x \le b$. Такой функцией может быть парабола. Тогда условие выпуклости вниз функции имеет вид:

$$f\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right) \le \frac{f(x_1) + f(x_2)}{2}, \tag{3}$$

где x_1 и x_2 любые две точки из интервала [a; b]. Геометрически это означает, что середина любой хорды графика функции $f(x)$ лежит либо над графиком, либо на нём [8].

Если аппроксимирующая функция дважды дифференцируема на интервале, то для того чтобы она была выпуклой вниз, необходимо и достаточно, чтобы в пределах интервала [a; b] её вторая производная была неотрицательной, т. е.

$$f''(x) \ge 0. \tag{4}$$

Отказ сооружения в результате нарушения его общей устойчивости представляет собой событие-следствие, имеющее место, если происходит хотя бы одно из трёх исходных событий, т. е. трёх видов отказов, описываемых критериями (1), (2) и (4).

При исследовании устойчивости земляного полотна, возведённого в зоне распространения многолетнемёрзлых грунтов, оперируют факторами, которые по своей природе являются случайными. Прежде всего, это климатические, грунтовые и гидрологические условия, определяющие характеристики грунтов (влажность, плотность, модули упругости, сопротивление сдвигу). Неопределённость в назначении расчётных характеристик также связана с движением талой воды в грунтах, неизбежными погрешностями лабораторных исследова-

ний грунтов, схематизацией явлений при расчётах. И, наконец, источником неопределённостей могут быть сами критерии отказов.

Таким образом, при оценке устойчивости насыпи наиболее логичным представляется использование вероятностного подхода. Вероятность отказа сооружения по первому критерию определится, как вероятность выполнения условия (1), т. е. $P_1 = P\left(h_{\text{доп}} < \left|\Delta S_{\text{осн}}\right|\right)$. Вероятность отказа, вызванного превышением суммарной осадки допустимого значения, $P_2 = P\left(S_{\text{доп}} < S\right)$. Вероятность отказа, оцениваемого по третьему критерию, может быть вычислена, как вероятность выполнения условия (4), т. е. $P_3 = P\left(f''(x) \geq 0\right)$.

Данные события не являются стохастически независимыми, поэтому вероятность отказа сооружения может быть вычислена по формуле

$$P = P_{i,\max} + \sum_{j=1}^{3} P_j - \sum_{k=1}^{3}\left(P_{ik}\sum_{j=1}^{k} P_{jk}P_j\right), \tag{5}$$

где $P_{j,\max}$ – максимальное значение из P_1, P_2 и P_3; P_{ik}, P_{jk} – условные вероятности возникновения i-го и j-го событий при условии реализации k-го сочетания j-х событий ($j \neq i$) [2].

В качестве меры надёжности насыпи можно принять вероятность безотказной работы, вычисляемую по формуле

$$H = 1 - P. \tag{6}$$

При получении вероятностей отказов используют различные методики. Если факторы, влияющие на отказ сооружения, являются стохастически определимыми, то вероятности находят по законам распределения, оценки которых получают по статистическим данным многолетних наблюдений или серии экспериментов.

Параметры распределения факторов нестохастической природы, представляющих собой функции статистически определимых аргументов, устанавливают на основе рандомизации уравнений связи. При рандомизации уравнений связи могут использоваться различные приёмы, наибольшее распространение среди которых получили метод статистических испытаний (Монте-Карло) и метод статистической линеаризации [1-3]. Для вероятностной оценки неопределенного показателя используют теорию нечётких множеств или методы экспертных оценок [6, 10].

Таким образом, в результате исследований:

- сформулировано понятие отказа автомобильной дороги как потери способности сооружения выполнять свою функцию – обеспечивать безопасное движение автомобильного транспорта с заданной расчётной скоростью;

- назначены критерии отказа насыпи, проектируемой в зоне распространения многолетнемёрзлых грунтов по второму принципу;

- предложена мера надёжности сооружения, как вероятность безотказной работы насыпи;

- приведена формула для вычисления вероятности отказа насыпи, учитывающая три критерия.

Литература:

1. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1971 – 256 с.

2. Векслер А.Б. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений /А.Б. Векслер, Д.А. Ивашинцов, Д.В. Стефанишин. – СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2002. – 592 с.

3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М. Наука, 1991. – 384 с.

4. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд /под ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М.: Транспорт, 1971 – 416 с.

5. ГОСТ Р 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения. – М., Госстандарт. – 24 с.

6. Джарратано Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование/ Д. Джарратано, Г. Райли; пер. с англ. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 1152 с.

7. Земляное полотно автомобильных дорог в северных условиях / под ред. А.А. Малышева. – М.: Транспорт, 1974. – 186 с.

8. Математическая Энциклопедия /под ред. И.М. Виноградова. – М.: Советская Энциклопедия, 1977. Т.1. – 1152 с.

9. ОДМ 218.2.094-2018. Методические рекомендации по проектированию земляного полотна автомобильных дорог общего пользования из местных талых и мерзлых переувлажненных глинистых и торфяных грунтов в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов /Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). – М., 2018. – 49 с.

10. Пегат А. Нечёткое моделирование и управление /А. Пегат; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.