

Для цитирования: Аллаев М.О. Оценка устойчивости массивов грунта с учётом неоднородности слагающих пород на базе моделей случайных величин и случайных функций. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;43 (4):112-122. DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-112-122.

For citation: Allaev M.O. Evaluation of subsoil massif stability taking into account the irregularity of constituent rocks on the basis of a random size and function model. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016; 43 (4): 112-122. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-112-122

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.131.3.

DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-112-122

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МАССИВОВ ГРУНТА С УЧЁТОМ НЕОДНОРОДНОСТИ СЛАГАЮЩИХ ПОРОД НА БАЗЕ МОДЕЛЕЙ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН И СЛУЧАЙНЫХ ФУНКЦИЙ

Аллаев М.О.

Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,
e-mail: allae2014@mail.ru

Резюме: Цель. Статья посвящена дальнейшему совершенствованию расчетных методов по изучению причин возникновения оползней и их развития. **Метод.** Существующий детерминистический подход к оценке устойчивости вносит некоторую неопределенность. Предлагается прогноз устойчивости массива осуществлять путем комплексного учета влияния на ее величину изменчивости входных параметров в целом на базе моделей случайных величин и, в случае наличия информации о состоянии массива в разные моменты времени, воспользоваться моделью случайной функции. Использование модели случайной функции при решении задачи прогноза устойчивости массива позволяет оценить такие важные параметры безопасного развития оползневого процесса, как вероятность выброса, т.е. снижение значения коэффициента безопасности ниже его допустимой величины и время достижения этого условия, т.е. сохранения безопасного состояния массива. Приведена методика определения стоимости мероприятий, направленных на обеспечение необходимой величины коэффициента устойчивости или надёжности, когда их расчетные значения окажутся меньше соответствующих допустимых значений. **Результат.** Реализация мероприятий по обеспечению устойчивости массива грунта связана с некоторыми затратами, а в случае оползня с дополнительными потерями, вызванными его последствиями. Стоимость мероприятий и вероятность потерь являются функционалами коэффициента устойчивости массива. Получено выражение по определению оптимального значения коэффициента устойчивости массива, который будет соответствовать минимуму суммарных затрат на мероприятия и на дополнительные потери в случае оползня.

Вывод. Проведенные расчеты показали, что надёжность и параметры безопасного состояния массива (вероятность и время отсутствия потери устойчивости) зависят от его строения и характеристик слагающих массив пород.

Ключевые слова: оползень, случайная функция, вероятность, изменчивость, процесс, время, прогноз, дисперсия, надёжность, отказ, оптимизация, выброс, коэффициент устойчивости

TECHICAL SCIENCE
BUILDING AND ARCHITECTURE

EVALUATION OF SUBSOIL MASSIF STABILITY TAKING INTO ACCOUNT THE IRREGULARITY OF CONSTITUENT ROCKS ON THE BASIS OF A RANDOM SIZE AND FUNCTION MODEL

Mazhid O. Allaev

Daghestan State Technica l University,
70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367015, Russia

¹e-mail: allae2014@mail.ru

Abstract: Objectives. This article considers issues involved in the development and continued improvement of computing methods for the study of the causes of landslides. **Methods** .The existing deterministic assessment approach to stability assessment contains an element of uncertainty. A mass stability forecast, accomplished by means of a complex account of the impact on the variation of its input parameters generally on the basis of modelled random variables, or, in cases where information on the status of the massif at different times is present, a random function model, is proposed. The use of the random function model when solving the problem of forecasting the stability of the massif enables the evaluation of such important parameters of the safe development of the landslide process as probability of occurrence, i.e. the decrease below the permissible level of the safety coefficient, and the time period of development, so as to maintain the safety status of the massif. A method for determining the cost of maintaining the necessary stability or reliability coefficient value at a time when their calculated values are less than the respective permissible values is shown. **Results.** The implementation of measures to ensure the stability of the ground massif are associated with certain costs, and, in the case of a landslide, with additional losses incurred as a consequence. The cost of activities and the likelihood of loss are functional stability factors. The arrived-at expression determines the optimal massif stability coefficient value, which will correspond with the minimum total cost of the exercise and with additional losses in the event of a landslide. **Conclusion.** The calculations have shown that the stability of a massif and safety parameters (loss of stability in the absence of time and probability) depend on the structure and characteristics of the constituent rocks of the massif.

Keywords: landslide, random function, probability, variability, process, time, prognosis, variance, reliability, failure, optimisation, output, stability coefficient

Введение. Одними из широко распространенных экзогенных геологических процессов являются оползни. В настоящее время опубликовано большое количество работ, посвященных изучению причин их развития, базирующихся на геолого-генетическом подходе. Учитывая важность развития подобных исследований нельзя не отметить, что их практическая реализация вызывает определенные трудности, связанные с отсутствием количественных моделей, позволяющих на основе этого подхода оценить состояние массива. Поэтому актуальным остается дальнейшее совершенствование расчетных методов на базе учета прочности грунтов.

Постановка задачи. Наиболее распространенным методом прогноза состояния массива является его оценка по величине коэффициента устойчивости. Расчётные схемы для оползней типа скольжения достаточно часто применяются в практике проектирования откосов насыпей автомобильных дорог и могут быть использованы как для определения коэффициента устойчивости, так и для вычисления оползневого давления. Поверхность смещения при этом может быть плоская или криволинейная. Криволинейная поверхность смещения соответствует механизму (смещения) разрушения в виде среза с поворотом.

В результате расчёта определяют минимальный коэффициент устойчивости и оползневое давление для вертикального сечения или откоса, предполагается устройство противооползневой удерживающей конструкции. Задача имеет два варианта решения.

Первый, соответствует зафиксированной (по данным изысканий) поверхности в склоне, которая принимается в виде круглоцилиндрической. Второй, связан с нахождением предполагаемой, наиболее опасной поверхности, по которой может произойти оползень.

Во втором варианте сложность задачи заключается в определении положения и очерта-ния наиболее опасной поверхности скольжения, координат ее центра. Это зависит от ряда фак-торов и может быть выполнено подбором, т.е. путем использования специальных приемов.

В настоящее время такая задача решается с использованием метода конечных элемен-тов [16] на ЭВМ, что позволяет выполнять массовые расчеты и повышать их точность. Для этого по специально составленной программе из всех возможных очертаний опасной по-верхности отыскивается наиболее вероятный вариант, соответствующий минимальному зна-чению коэффициента устойчивости. Вместе с тем, даже при использовании современных вычислительных комплексов необходимо знать исходные предпосылки метода расчета и по-рядок определения коэффициента устойчивости.

На практике имеются два различных подхода к определению степени устойчивости склона или откоса с использованием расчетной схемы в виде круглоцилиндрической по-верхности скольжения.

В первом варианте применяется способ, согласно которому заданный массив, смеща-ющийся по круглоцилиндрической поверхности, рассматривается как монолитное твёрдое тело. Первый вариант можно трактовать как способ одного блока. Для практических расче-тов он разработан Д.Тейлором [13,17,18].

Во втором варианте применяется способ расчленение массива грунта на отдельные вертикальные блоки, каждый из которых принимается в виде монолитного твёрдого тела, стоящего своей подошвой на круглоцилиндрической поверхности смещения. В отечествен-ной практике используется способ разбивки на отдельные блоки (отсеки).

Коэффициент устойчивости определяется по отношению суммы моментов удержи-вающих сил к сумме моментов сдвигающих сил относительно центра круглоцилиндриче-ской поверхности смещения. В конечном итоге расчётная формула для определения коэф-фициента устойчивости принимает следующий вид [9,11,13,17]

$$K = \frac{F_n}{F_c} = \frac{\sum_{i=1}^n f V_i \gamma \cos \alpha_i + c L}{\sum_{i=1}^n V_i \gamma \sin \alpha_i}, \quad (1)$$

где V - объем i -го отсека, получаемого при разбивке сползающей части массива на n отсеков, согласно идее метода круглоцилиндрической поверхности скольжения;

f – среднее значение интенсивности сил трения по поверхности скольжения;

c – среднее значение сцепления грунта;

L – длина дуги скольжения;

α_i - угол между нормалью к дуге скольжения в середине i -го отсека и направлением его веса (вертикалью).

Среднее значение сил трения равно

$$f = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^n l_j f_j, \quad (2)$$

где l_j и f_j - соответственно длина дуги скольжения и значение сил трения в преде-лах i -го слоя грунта.

Среднее значение сцепления и удельного веса грунтов определяют аналогично.

Используемые в расчетах параметры массива являются случайными величинами. Действительно, угол внутреннего трения, удельное сцепление и вес отдельных отсеков из-меняются под воздействием множества случайных факторов т.е. являются случайными ве-

личинами. Поэтому прогноз состояния грунтового массива (устойчивость, момент разрушения, скорость развития процесса и т.д.) в детерминированной постановке, в том числе и с использованием численных методов, является процессом принятия решения в условиях неопределённости его свойств.

Методы исследования. Действующие методы расчета устойчивости откосов и склонов, согласно нормативным документам, учитывают вероятностный характер параметров массива только в части обработки исходных данных, т.е. при расчётах используются расчётные значения параметров массива, устанавливаемые путём построения доверительного интервала при нормативной величине доверительной вероятности. Однако по вероятности оценки отдельных параметров нельзя судить однозначно о достоверности оценки устойчивости массива.

Поэтому представляется целесообразным прогноз устойчивости откосов и склонов осуществлять в вероятностной постановке на основе методов теории вероятностей, теории случайных функций, путём комплексного учёта влияния на ее величину изменчивости входных параметров в целом [1,23,24].

Предлагается методика прогноза оценки устойчивости массивов с учётом неоднородности слагающих его пород на базе моделей случайных величин и случайных функций.

При этом надёжность устойчивости массива можно определить из выражения [6,7,22]

$$H = \frac{1}{2} [1 + \Phi_z(z)] + \frac{1}{6} \frac{m_3 F}{\sigma_F^3} \varphi_0^{(2)}(z) + \frac{1}{24} \left(\frac{m_4 F}{\sigma_F^4} - 3 \right) \varphi_0^{(3)}(z), \quad (3)$$

$$z = \frac{K - 1}{\sqrt{v_n^2 K^2 + v_c^2}}, \quad (4)$$

где v_n и v_c , соответственно, коэффициенты вариации препятствующих и сдвигающих сил;

$m_3 F$ и $m_4 F$ - третий и четвертый центральные моменты параметра $F = F_n - F_c$;

$\Phi_z(z)$ - интеграл вероятностей;

$\varphi_0^{(2)}(z)$ и $\varphi_0^{(3)}(z)$ - соответственно вторая и третья производные, принимаемые по таблице [2];

σ_F - среднее квадратическое отклонение F .

Дисперсия σ_F^2 , рассчитанная методом линеаризации, равна

$$\sigma_F^2 = \sigma_{F_n}^2 + \sigma_{F_c}^2, \quad (5)$$

где $\sigma_{F_n}^2$ и $\sigma_{F_c}^2$ - дисперсии удерживающих и сдвигающих сил, равные

$$\sigma_{F_n}^2 = \left(\gamma \sum_{i=1}^n v_i \cos \alpha_c \right)^2 \sigma_f^2 + \left(f \sum_{i=1}^n v_i \cos \alpha_i \right)^2 \sigma_\gamma^2 + L^2 \sigma_c^2 \quad (6)$$

$$\sigma_{F_c}^2 = \left(\sum_{i=1}^n v_i \sin \alpha_i \right)^2 \sigma_\gamma^2 \quad (7)$$

где σ_f^2 , σ_c^2 , σ_γ^2 - соответственно дисперсии f , c , γ равны:

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{L^2} \sum_{j=1}^m l_j^2 \sigma_{fj}^2 \quad (8)$$

$$\sigma_c^2 = \frac{1}{L^2} \sum_{j=1}^m l_j^2 \sigma_{cj}^2 \quad (9)$$

$$\sigma_{\gamma}^2 = \frac{1}{L^2} \sum_{j=1}^m l_j^2 \sigma_{\gamma j}^2 \quad (10)$$

где $\sigma_{fj}^2, \sigma_{cj}^2, \sigma_{\gamma j}^2$ – соответственно дисперсии f_j, c_j, γ_j грунта j -го слоя.

Центральные моменты m_3F и m_4F равны,

$$m_3F = m_3F_n + m_3F_c; \quad (11)$$

$$m_4F = m_4F_n + m_4F_c + b\sigma_{F_n}^2\sigma_{F_c}^2; \quad (12)$$

$$m_3F_n = \left(\gamma \sum_{i=1}^n v_i \cos \alpha_i \right) m_3f + \left(f \sum_{i=1}^n v_i \cos \alpha_i \right)^3 m_3\gamma + L^3 m_3c; \quad (13)$$

$$m_3F_c = \left(\sum_{i=1}^n v_i \sin \alpha_i \right) m_3\gamma_n; \quad (14)$$

$$m_4F_n = \left(\gamma \sum_{i=1}^n v_i \cos \alpha_i \right)^4 m_4f + \left(f \sum_{i=1}^n v_i \cos \alpha_i \right)^4 m_4\gamma + L^4 m_4c \quad (15)$$

$$m_4F_c = \left(\sum_{i=1}^n v_i \sin \alpha_i \right)^4 m_4\gamma \quad (16)$$

где, $m_3f, m_3\gamma, m_3c, m_4f, m_4\gamma, m_4c$ – соответственно, третьи и четвертые центральные моменты параметров f, γ, c .

Выражение (3) позволяет определить надёжность при известном коэффициенте устойчивости [15,19]. Последний, должен быть не ниже допустимого значения K_{δ} , а при $K=1$ массив находится в предельном состоянии.

Если вычисленное значение K оказывается меньше допустимого, то проводятся определённые мероприятия, способствующие соблюдению условия $K \geq K_{\delta}$. Однако при небольшом превышении вновь вычисленного значения коэффициента устойчивости над допустимым значением можно не достичь требуемой величины надёжности.

Поэтому выбор мероприятий здесь необходимо осуществлять с учётом одновременного достижения двух условий, т.е.

$$K \geq K_{\delta}; H \geq H_{\delta} \quad (17)$$

На практике же проверяется лишь одно условие, а именно $K \geq K_{\delta}$.

Анализ выражения (3) показывает, что коэффициент запаса следует выбрать в соответствии с грунтовыми условиями. В случае однородных грунтов его величина может незначительно отличаться от K_{δ} , т.е. с уменьшением неоднородности грунтов и увеличением значения их характеристик надёжность повышается.

Расчёты, согласно нормативным документам, эту особенность не учитывают, а предложенный подход позволяет реализовать это требование количественно. Это поможет детальному изучению грунтов, и определить мероприятия по обеспечению устойчивости грунтовых массивов с учётом их особенностей.

Параметры оползневой массы изменяются во времени. При наличии соответствующей информации об изменении во времени входных параметров f, γ, c одновременно можно определить надёжность в разные моменты времени [6,8,19], а также, пользуясь соотношениями (1) и (3), и проверить соблюдения условий (17). Время, в течение которого эти условия соблюдаются, следует считать безопасным с точки зрения сохранения устойчивости массива.

Однако при наличии информации для непосредственного изучения самого процесса

по времени целесообразно использовать более точные модели, в частности, модель случайной функции [5,6]. При этом задача прогноза устойчивости массива становится более содержательной и позволяет оценить такие важные параметры безопасного развития оползневой процесса, как вероятность выброса, т.е. снижение значения коэффициента безопасности ниже его допустимой величины K_0 ($K < K_0$) и время достижения этого условия, т.е. сохранения безопасного состояния массива.

Для использования модели случайной функции совокупность значений коэффициента устойчивости, рассчитанных в отдельные моменты времени, следует рассматривать как ее реализацию [2,3,4,8]. При этом коэффициент устойчивости может изменяться во времени двояко: во-первых, с постоянным средним значением K и случайными отклонениями во времени вокруг него; во-вторых, с непрерывно изменяющимся (увеличивающимся или уменьшающимся) средним значением (t) и случайными отклонениями (t) вокруг него.

Коэффициент устойчивости, рассчитанный в фиксированный момент времени по выражению (1), является функцией случайных аргументов f, c, γ [20,21,22].

Дисперсию « K » при этом можно определить методом линеаризации [2,10,19,20]. Частные производные по аргументам f, c, γ равны

$$\frac{dK}{df} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \gamma \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n v_i \gamma \sin \alpha_i} = a, \quad (18)$$

$$\frac{dK}{dc} = \frac{L}{\sum_{i=1}^n v_i \gamma \sin \alpha_i} = b, \quad (19)$$

$$\frac{dK}{d\gamma} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n v_i \gamma \sin \alpha_i} \left(\sum_{i=1}^n f v_i \cos \alpha_i \frac{K}{\gamma} \right) = s. \quad (20)$$

С учетом выражений для частных производных дисперсия коэффициента устойчивости определяется [20,21]

$$D[K] = a^2 \sigma_f^2 + b^2 \sigma_c^2 + s^2 \sigma_\gamma^2 \quad (21)$$

Допустим, что коэффициент устойчивости представляет собой сумма детерминированной функции $\bar{K}(t)$ (непрерывно уменьшается в среднем) и стационарной случайной составляющей $K(t)$ с нулевым средним, дисперсией $D[K]$ и корреляционной функцией $K[\tau]$. Считая, что в фиксированные моменты времени значения коэффициента устойчивости массива и его производной независимы, среднее число пересечений $K[\tau]$ за его допустимую величину K_0 в единицу времени за период T [8,14] равно

$$\nu = \frac{\sigma_v}{2T\sigma_k \sqrt{2\pi}} \int_0^T \left[y + \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(e^{-\frac{y^2}{2}} + y \sqrt{\frac{\pi}{2}} [2F(y) - 1] \right) \right] e^{-\frac{[K(\tau) - K_0]^2}{2D[K]}} dt, \quad (22)$$

где, $y = \frac{K(\tau)}{\sigma}$, σ_v^2 - дисперсия производной случайной функции;

$F(y)$ – функция Лапласа;

$K(\tau)$ – корреляционная функция.

Если значения коэффициента устойчивости образуют стационарную нормальную случайную функцию с постоянным во времени средним значением, то среднее число выбросов в единицу времени [2,3,4,14,20]

$$v = \frac{\sigma_v}{2\pi\sigma_k} e^{\frac{[K-K_0]^2}{2\sigma_k^2}}, \quad (23)$$

где, $\sigma_v^2 = -\frac{d^2}{dv^2} K_k(\tau) |_{\tau=0}$;

τ - параметр корреляционной функции.

На практике важно знать вероятность первого по времени уменьшения коэффициента устойчивости ниже его допустимого значения. Если вероятность такого уменьшения будет известна, то среднее время, за которое произойдет оно, определится из соотношения [2,14,21]

$$T = \int_0^{\infty} P(T) dT. \quad (24)$$

Снижение величины коэффициента устойчивости ниже его допустимого значения на практике вовсе не допускается, или же это является редким событием. При предотвращении такого развития процесса практически устраняются причины, приведшие к этому состоянию, а при частичном их сохранении они качественно по-иному влияют на состояние массива грунта.

Это позволяет считать пересечение коэффициентом устойчивости значения K_0 независимым событием. Тогда число пересечений (выбросов) за время T можно считать подчиняющимся закону Пуассона и вероятность отсутствия выброса за время T [12,25,26]

$$P_0(T) = e^{-vT} \quad (25)$$

В случае стационарного нормального процесса эта вероятность определится из соотношения [12,25]

$$P_0(T) = EXP \left[-\frac{T}{2\pi} \sqrt{-\frac{K_k(\tau)}{K_k(\tau) |_{\tau=0}} * e^{\frac{-(K-K_0)}{2D[K]}}} \right], \quad (26)$$

где $K_k(\tau) = \frac{d^2}{d\tau^2} K_k(\tau)$ - вторая производная от корреляционной функции $K_k(\tau)$.

Конкретное выражение для корреляционной функции выбирается с учётом особенностей изменения коэффициента устойчивости.

Допустим, корреляционная функция случайной функции коэффициента устойчивости имеет вид

$$K_n(\tau) = D(K) e^{-\alpha|\tau|} \left(\cos \beta\tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta|\tau| \right), \quad (27)$$

α и β - параметры корреляционной функции, зависящие от структуры случайной функции.

С учётом (27) выражение (26) принимает вид

$$P_0(T) = EXP \left[-\frac{T}{2\pi} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} * e^{\frac{-(K-K_0)^2}{2D[K]}} \right], \quad (28)$$

Среднее время достижения коэффициентом устойчивости значения его допустимой величины K_0 из (24) с учетом (28) равно

$$T_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} e^{\frac{-(K-K_0)^2}{2D[K]}} \quad (29)$$

Как видно, время достижения коэффициентом устойчивости значения K_0 тем меньше,

чем более неоднороден процесс изменения $K(\tau)$.

Величины надёжностей, рассчитанные по выражению (28) или коэффициенты устойчивости по (1), могут оказаться меньше их соответствующих допустимых значений, назначенных из практического опыта наблюдений за аналогичными массивами или иных соображений.

Для достижения этих величин необходимо проводить определённые мероприятия, реализация которых связана с некоторыми затратами [7], а в случае оползня с дополнительными потерями, вызванными его последствиями.

При этом суммарные затраты будут равны

$$C = C_m + C_n P_v, \quad (30)$$

где C_m – стоимость мероприятий, проводимых для повышения устойчивости массива; C_n – стоимость потерь в случае оползня; P_v – вероятность потерь, равная $P_v = 1 - P$, где P – надёжность прогноза коэффициента устойчивости, определяемая в фиксированный момент времени по соотношению (3), а с учётом фактора времени по (28).

Стоимость мероприятий и вероятность потерь являются функционалами коэффициента устойчивости. Оптимальное значение его будет соответствовать минимуму суммарных затрат (30). Для его определения стоимость проводимых мероприятий выразим через коэффициент устойчивости.

Стоимость мероприятий равна

$$C_m = (K - K_p) C_K, \quad (31)$$

где K_p – значение коэффициента устойчивости, рассчитанное при исходных параметрах массива;

C_K – стоимость мероприятий, обеспечивающих единицу отношения от $(K - K_p)$.

С учётом выражений (28) и (31) соотношение (30) принимает вид

$$C = (K - K_p) C_K + C_n \left(1 - e^{-\frac{T}{2\pi} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} * e^{-\frac{(K - K_p)^2}{2D[K]}}} \right) \quad (32)$$

Находим частную производную от соотношения (31) по коэффициенту устойчивости K и приравняем ее к нулю

$$C_m = \frac{C_n T \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} (K - K_p)}{2\pi D[K]} e^{-\frac{(K - K_p)^2}{2D[K]}} e^{-\frac{T}{2\pi} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} e^{-\frac{(K - K_p)^2}{2D[K]}}} = 0 \quad (33)$$

Уравнение (32) представим в виде

$$\frac{2\pi D[K] C_m}{C_n T \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} (K - K_p)} e^{-\frac{(K - K_p)^2}{2D[K]}} = e^{-\frac{T}{2\pi} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} e^{-\frac{(K - K_p)^2}{2D[K]}}} \quad (34)$$

Уравнение (34) можно решить графически.

В результате получим оптимальное значение коэффициента устойчивости с учётом ущерба в случае потери устойчивости массива.

Обсуждение результатов. Прогноз устойчивости откосов и склонов впервые осуществлен в вероятностной постановке, используя теорию надежности на основе методов теории вероятностей и теории случайных функций.

Выражение (3) позволяет определить надёжность при известном минимальном значении коэффициента устойчивости $K_{мин}$, полученная детерминистическими инженерными методами. Величина надежности должна быть высокая, и значение коэффициента устойчивости $K_{мин}$ должно быть не ниже допустимого значения K_0 , т.е. соблюдено неравенство $K_{мин} > K_0$, а при $K_{мин} = K_0$ массив находится в предельном состоянии.

В случае когда, вычисленное значение $K_{мин}$ оказывается меньше допустимого, то проводятся определённые мероприятия, приводящие к соблюдению условия $K_{мин} \geq K_0$, реализация которых связана с некоторыми затратами, а в случае оползня с дополнительными потерями, вызванными его последствиями.

С целью оптимизации затрат на мероприятия по повышению устойчивости массива и

на ликвидацию последствий в случае нарушения его устойчивости получена зависимость суммарных затрат от коэффициента устойчивости. Оптимальное значение его будет соответствовать минимуму суммарных затрат

Вывод. Расчёты, выполненные по выше приведённой методике показали, что надёжность и параметры безопасного состояния массива (вероятность и время отсутствия потери устойчивости) зависят от его строения и характеристик слагающих массив пород.

Библиографический список:

1. Аллаев М.О., Загиров Ш.Ш. и др. «Теоретические и методологические аспекты оптимального комплексирования методов исследований оснований сооружений». Махачкала: ДГТУ, 2002.- 108с.
2. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М.,1982. 351с.
3. Вентцель Е.С. «Теория вероятностей», М., 1989, стр.572.
4. Гаскаров Д.В. и др. Прогнозирование технического состояния и надежности радио-электронной аппаратуры. М., 1974.223с.
5. Гулакян К.А. и др. Прогнозирование оползневых процессов. М., 1977. 135с.
6. Ермолаев М.Н., Михеев В.В. «Надёжность оснований сооружений», Л., 1976, стр. 151.
7. Загиров Ш.Ш. Оптимизация инженерно-геологических изысканий оснований сооружений. М., изд-во «Всесоюзного заочного политехн. инст.», 1990. 394с.
8. Загиров Ш.Ш. К прогнозированию состояния процессов и оптимизации их исследований. ДПИ. Махачкала, 1987. Деп. В ВИНТИ 17,06,87, 4364-В 87,21 с.
9. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учеб.пособие для строит. спец. вузов / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский и др.; Под С.Б. Ухова. - 4-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2007. - 566с.
10. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М., 1968. 288с.
11. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов / ПНИ-ИИС. - М.: Стройиздат, 1984. - 80 с.
12. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных процессов. М., 1968. 463с.
13. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М., 1985. 479с.
14. Тихонов В.И. Выбросы случайных процессов. М., 1970. 392с.
15. Устойчивость грунтовых массивов: учеб.метод. пособие / сост. О.П. Дружакина, К.В. Гаврилова. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2012. 68с.
16. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. - М.: Недра, 1987, 221с.
17. Цветков В.К. Расчет устойчивости откосов и склонов // Волгоград: Нижнее-Волжское кн. изд. 1979. С.238.
18. Krahn, J. Stability modeling with Slope /W.An engineering methodology.First Edition. Revision I / J. Krahn // Calgary, Alta: Geo-Slope International Ltd., 2004.
19. Уткин В.С., Шепелина Е.А. Расчет надежности оснований и фундаментов по критерию прочности при ограниченной информации о нагрузке //Инж. строит.журнал. 2013. №1. С.48-56.
20. Rzhanitsyn A.R., Teoriya raschetastroitelnykh konstruktsiy na nezhdnost [Calculation theory of building structures reliability]. Moscow: Stroyizdat, 1978. 239 p. (rus).
21. Shpete G., Nadezhnost nesushchikh stroitelnykh konstruktsiy [Reliability of the supporting constructions. Translation from German by O.O. Andreev]. Moscow: Stroyizdat, 1994. 288 p. (rus).

22. Rayder V.D., *Teoriyanadezhnosti v stroitelnomproyektirovani: monografiya [Reliability theory in construction design: monograph]*. Moscow: ASV, 1998. 304 p. (rus).
23. Tonon F., Bernardini A., Mammino A. Determination of parameters range in rock engineering by means of Ransom Set Theory // *Reliability Engineering and System Safety*. 2000. №70 (3). Pp. 241-261.
24. Utkin V.S., Utkin L.V. ISSN 1068-798X. *Russian Engineering Research*. 2012 Vol.32. №9-10. Pp. 627-630.
25. Уткин Л.В., Ярыгина О.В. Расчет надежности железобетонных элементов на продавливание при ограниченной информации о параметрах // *Строительная механика и расчет сооружений* 2011. Вып.235. №2. С.63-68.2013. 48-56
26. Baudrit C., Dubois D. Praktikal representations of incomplete probabilistic knowledge // *Computational Statistics and data Analysis*. 2006.51.Pp. 86-108.

References:

1. Allaev M.O., Zagirov Sh.Sh. et al. *Teoreticheskie i metodologicheskie aspekty optimalnogo kompleksirovaniya metodov issledovaniy osnovaniy sooruzheniy*. Makhachkala: DGTU; 2002. 108 s. [Allaev M.O., Zagirov Sh.Sh. et al. The theoretical and methodological aspects of optimum combination of the research methods of the bases of constructions. Makhachkala: DSTU; 2002. 108 p.(In Russ.)]
2. Bolotin V.V. *Metody teorii veroyatnostey i teorii nadezhnosti v raschetakh sooruzheniy*. M; 1982. 351 s. [Bolotin V.V. Methods of probability theory and reliability theory in structural analysis. Moscow; 1982. 351 p. (In Russ.)]
3. Venttsel E.S. *Teoriya veroyatnostey*. M.; 1989. 572 s. [Venttsel E.S. The theory of probability. Moscow; 1989. 572 p. (In Russ.)]
4. Gaskarov D.V. i dr. *Prognozirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya i nadezhnosti radio-elektronnoy apparatury*. M.; 1974. 223 s. [Gaskarov D.V. et al. Prediction of technical state and reliability of radio-electronic equipment. Moscow; 1974. 223 p. (In Russ.)]
5. Gulakyan K.A. i dr. *Prognozirovanie opolznevykh protsessov*. M.; 1977. 135 s. [Gulakyan K.A. et al. Soil slip prediction. Moscow; 1977. 135 p. (In Russ.)]
6. Ermolaev M.N., Mikheev V.V. *Nadyozhnost osnovaniy sooruzheniy*. L.; 1976. 151 s. [Ermolaev M.N., Mikheev V.V. Reliability of the bases of constructions. Leningrad; 1976. 151 p. (In Russ.)]
7. Zagirov Sh.Sh. *Optimizatsiya inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy osnovaniy sooruzheniy*. M.: izd-vo "Vsesoyuznogo zaochnogo politekhn. inst."; 1990. 394 s. [Zagirov Sh.Sh. Optimization of engineering-geological research of the bases of constructions. Moscow: All-Union Correspondence Polytechnic Institute Publ.; 1990. 394 p.(In Russ.)]
8. Zagirov Sh.Sh. *K prognozirovaniyu sostoyaniya protsessov i optimizatsii ikh issledovaniy*. DPI. Makhachkala: Dep. V VINITI; 1987. [Zagirov Sh.Sh. To forecasting of process state and optimization of their research. DPI. Makhachkala: VINITI; 1987. (In Russ.)]
9. Ukhov S.B., Semenov V.V., Znamenskiy V.V. i dr.; Pod S.B. Ukhova. *Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty: Ucheb.posobie dlya stroit. spets. vuzov*. 4-e izd., ster. M.: Vyssh. shk., 2007. 566 s. [Ukhov S.B., Semenov V.V., Znamenskiy V.V. et al. Soil mechanics, bases and foundations: textbook for universities of construction. In: S.B. Ushkov (Ed.). Moscow: Higher Institution; 2007. 566 p. (In Russ.)]
10. Pustynnik E.I. *Statisticheskie metody analiza i obrabotki nablyudeniy*. M.; 1968. 288 s. [Pustynnik E.I. Statistical methods of the analysis and processing of observations. Moscow; 1968. 288 p. (In Russ.)]
11. *Rekomendatsii po kolichestvennoy otsenke ustoychivosti opolznevykh sklonov*. PNIIS. M.: Stroyizdat; 1984. 80 s. [Recommendations on the quantitative assessment of landslide slopes stability. PNIIS. Moscow: Stroyizdat; 1984. 80 p. (In Russ.)]
12. Sveshnikov A.A. *Prikladnyye metody teorii sluchaynykh protsessov*. M.; 1968. 463 s. [Sveshnikov A.A. Applied methods of the theory of random processes. Moscow; 1968. 463 p. (In Russ.)]

13. Spravochnik proektirovshchika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnyye sooruzheniya. M.; 1985. 479 s. [Reference book of structural designer. Bases, infrastructure and underground constructions. Moscow; 1985. 479 p. (In Russ.)]
14. Tikhonov V.I. Vybrosoy sluchaynykh protsessov. M; 1970. 392 s. [Tikhonov V.I. Random process emission. Moscow; 1970. 392 p.(In Russ.)]
15. Druzhakina O.P., Gavrilova K.V. Ustoychivost gruntovykh massivov: ucheb.metod. posobie. Izhevsk: Izd-vo "Udmurtskiy universitet"; 2012. 68 s. [Druzhakina O.P., Gavrilova K.V. Stability of soil massifs: study guide. Izhevsk: Udmurt University Publ.; 2012. 68 p. (In Russ.)]
16. Fadeev A.B. Metod konechnykh elementov v geomekhanike. M.: Nedra; 1987. 221 s. [Fadeev A.B. Finite elements method in geomechanics. Moscow: Nedra Publ.; 1987. 221 p. (In Russ.)]
17. Tsvetkov V.K. Raschet ustoychivosti otkosov i sklonov. Volgograd: Nizhne-Volzhskoye kn. izd.; 1979. 238 s. [Tsvetkov V.K. Stability calculation of slopes and declivities. Volgograd: Nizhne-Volzhskoye Publ.; 1979. 238 p. (In Russ.)]
18. Krahn, J. Stability modeling with Slope. An engineering methodology. First Edition. Revision I Calgary, Alta: Geo-Slope International Ltd.; 2004.
19. Utkin V.S., Shepelina E.A. Raschet nadezhnosti osnovaniy i fundamentov po kriteriyu prochnosti pri ogranichennoy informatsii o nagruzke. Inzh. stroit. zhurnal. 2013;1:48-56. [Utkin V.S., Shepelina E.A. The reliability calculation of foundations under eccentric load in the operation phase. Magazine of Civil Engineering (In Russ.)]
20. Rzhanitsyn A.R. Teoriya rascheta stroitelnykh konstruktsiy na nadezhnost. M.: Stroyizdat; 1978. 239 s. [Rzhanitsyn A.R. Calculation theory of building structures' reliability. Moscow: Stroyizdat; 1978. 239 p. (In Russ.)]
21. Shpete G. Nadezhnost nesushchikh stroitelnykh konstruktsiy. Per. s nem Andreeva. M.: Stroyizdat; 1994. 288 s. [Shpete G. Reliability of the supporting constructions. Translation from Geman by O.O. Andreev. Moscow: Stroyizdat; 1994. 288 p. (In Russ.)]
22. Rayder V.D. Teoriya nadezhnosti v stroitelnom proyektirovanii: monografiya. M.: ASV; 1998. 304 s. [Rayder V.D. Reliability teoriya in construction design: monograph. Moscow: ASV; 1998. 304 p. (In Russ.)]
23. Tonon F., Bernardini A., Mammino A. Determination of parameters range in rock engi-neering by means of Rondon Set Theory. Reliability Engineering and System Safeti. 2000;70(3):241-261.
24. Utkin V.S., Utkin L.V. Russian Engineering Research. 2012;32(9-10):627-630. ISSN 1068-798X.
25. Utkin L.V., Yarygina O.V. Raschet nadezhnosti zhelezobonnykh elementov na pro-davlivanie pri ogranichennoy informatsii o parametrah. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. 2011;235(2):63-68. [Utkin L.V., Yarygina O.V. Reliability calculation of reinforced concrete elements on pushing at limited information on parameters. Construction mechanics and structural analysis. 2011;235(2):63-68. (In Russ.)]
26. Baudrit C., Dubois D. Praktikal representations of incomplete probablistic knowledge. Computational Statistics and Data Analysis. 2006;51:86-108. [(In Russ.)]

Сведения об авторе.

Аллаев Мажид Османович – кандидат технических наук, доцент, кафедра автомобильных дорог, оснований и фундаментов.

Information about the author.

Mazhid O. Allaev – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of automobile roads, bases and foundations.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 09.09.2016.

Received 09.09.2016.

Принята в печать 30.11.2016.

Accepted for publication 30.11.2016.