

Библиографический список:

1. Ж. Железные дороги мира. 2011-2012 С-84
2. Коновалов А.М. Транспортная инфраструктура российской Арктики: проблемы и пути их решения // Арктика: зона мира и сотрудничества / Отв. ред. А.В. Загорский. М. ИМЭМО РАН, 2011. С -195
3. Кондратьев.В.Г. Опыт строительства и проблемы стабильности земляного полотна Цинхай - Тибетской железной дороги на участках вечной мерзлоты. Ж. Транспорт Российской Федерации. № 6(25).2009.С-61.
4. Проектирование железнодорожного пути. Под ред. Г.М.Шахунянца. - М.: "Транспорт", 1972 г.- 320 с
5. Сооружение земляного полотна в сложных условиях: Учеб. пособие / Г.Л. Шалягин, Э.С. Спиридонов, М.С. Клыков и др.; Под ред. М.С. Клыкова. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2005. – С -131.
6. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. Учебник для. М. Транспорт. 1981г. С -536 .
7. Яковлева Г.Т. «Железнодорожный путь». М.Транспорт.1999.С - 406.

УДК 624.131.3.

Аллаев М. О.

МЕТОДЫ ПРОГНОЗА БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Allaev M.O.

METHODS OF THE FORECAST OF SAFE WORK OF A ROAD BED OF THE HIGHWAY

В статье приведены методы прогноза параметра безопасной работы земляного полотна, в качестве которого принята надежность работы за период между капитальными ремонтами при нормальных условиях эксплуатации. Рассматривается надежность как оценка вероятности невыхода процесса за допустимые интервалы и время, в течение которого не осуществляется такой выход. Геотехнические процессы, имеющие место во время эксплуатации земляного полотна, представлены как квазистационарные и стационарные случайные процессы. Получены выражения по прогнозированию времени достижения заданной вероятности отсутствия выброса, и, наоборот, по нахождению вероятности отсутствия (времени) выброса за фиксированный период времени.

Ключевые слова: *основание, вероятность, изменчивость, процесс, время, прогноз, дисперсия, надежность, выброс.*

Methods of the forecast of the parameter of the safe work earth are brought In article on-pallet, as which is accepted reliability of the work for period between heavy repairs at reasonable conditions of the usages. Reliability is Considered as estimation to probability of the failure to appear of the process for possible intervals and time, during which is not realized such output. Geotechnical processes, having place during usage of the earth linen, are presented as quasi-stationary and stationary casual processes. Expressions are Received on forecasting of time of the achievement given probability of the absence of the surge, and, on the contrary, on finding of probability of the absence (time) of the surge for fixed length of time.

Key words: *base, probability, variability, process, time, forecast, dispersion, reliability, surge*

Как известно, параметры оснований земляного полотна, входящие в расчетные схемы, являются случайными величинами. В различных примерах, зависящих от различных факторов, связанных с изменениями инженерно-геологических условий и процессов в основании, которые происходят под воздействием возводимой насыпи, параметры грунтов меняются во времени. Это приводит к изменению параметров безопасной работы земляного полотна.

Например, увеличение влажности приводит к возрастанию деформируемости и уменьшению значений прочностных характеристик. Эти условия приводят в целом к изменению исходной надежности системы “земляное полотно–основание”. Поэтому важно прогнозировать надежность данной системы за период эксплуатации автомобильной дороги

$$P(t) = \prod_{i=1}^k P_i(t), \quad (1)$$

где t – момент времени оценки надежности.

Задача оценки $P(t)$ является достаточно сложной, а использование здесь известных вероятностных методов невозможно из-за отсутствия информации в достаточном количестве. Применимым в данном случае является расчетно-теоретический метод, неизвестные прогнозные параметры решения задачи устанавливаются по исходным статистическим характеристикам входных параметров (модуля деформации, угла внутреннего трения и сцепления грунтов и т. д.)

При этом приходится отказываться от известной модели случайной величины и принимать модель случайной функции, т.е. входные параметры рассматривать как случайные функции времени.

При оценке параметров безопасной работы земляного полотна, под которыми в дальнейшем будем понимать время и вероятность отсутствия выброса за заданный уровень, можно идти двумя путями

Во-первых, изменение входных параметров в расчетные схемы рассматривать как случайный процесс, установив допустимые интервалы их изменения, исследовав чувствительность расчетных схем к варьированию входных параметров.

Во-вторых, проектное решение рассматривать как функцию времени и изучить его как процесс (развиваемый в дальнейшем подход не исключает оба пути).

Необходимо подчеркнуть, что методы прогноза состояния процесса зависят от особенностей его изучения и вида информации – качественной или количественной. Если процесс рассматривается как следствие применения параметров, определяющих его состояние, и такая связь установлена, то изучению во времени подлежат параметры.

При непосредственном изучении процесса параметры не рассматриваются, а устанавливается зависимость изменения процесса во времени. Практикуются оба указанных подхода к изучению процессов, накоплен соответствующий материал и разработаны различные методы их прогнозирования и классификации.

Прогнозирование процессов можно осуществить путем изучения закономерности развития данного и аналогичного процессов. При этом возможны различные задачи:

- 1) прогнозирование процесса в будущий отрезок времени (экстраполяция);
- 2) оценка вероятности невыхода процесса за допустимые интервалы и время, в течение которого не осуществляется такой выход.

Вероятность невыхода процесса за заданный уровень и время его достижения оцениваются методами вероятного прогнозирования, в частности, методами наибольшего развития процесса. Действительно на практике наибольший интерес представляет прогноз максимального развития процесса или же максимального изменения тех факторов, которые определяют состояние процесса.

Например, при изучении просадочного явления, важно знать интенсивность увлажнения грунтов, так как при прочих равных условиях этот фактор определяет скорость развития просадки. Использование градиентного метода позволяет установить факторы,

максимально влияющие на характер развития процесса, и, следовательно, подлежащие детальному изучению и контролю.

Наряду с прогнозированием процесса в будущие моменты времени на практике возникает необходимость установления момента времени выхода процесса за заданный уровень. Например, пусть заранее установлена предельно допустимая величина деформации основания насыпи земляного полотна дороги. Согласно нормам, расчетное значение деформации не должна превышать ее допустимую величину. Однако из-за изменения инженерно-геологических условий, вызванных различными причинами, деформации могут превышать допустимые величины. При этом важно иметь прогноз момента времени, когда деформация превысит фиксированное значение. Что касается уплотнения водонасыщенных оснований, то в определенных условиях такая задача решается методами теории фильтрационной консолидации грунтов. Время T достижения процессом допустимой границы определяется обратным прогнозированием, идея которого состоит в задании допустимых значений параметров и в определении момента времени достижения процессом этой границы. Время T рассчитывается из выражения

$$T = \{R[x(t_{n+j})] - R[x(t_n)]\} / \nabla R[x(t_n)] \quad (2)$$

где $T = j \Delta t$; Δt – шаг прогнозирования.

Для определения параметров безопасного развития процесса, прежде всего, необходимо установить предельный уровень его развития, пересечения которого не допускается. В данном случае нельзя рекомендовать единое правило по установлению такого предела, так как требования к уровню будут различными при решении конкретных задач, и, в зависимости от рассматриваемого процесса (геологического или геотехнического). Что касается ряда геотехнических процессов, как подтопления, осадки, просадки и т. д., то в качестве предельного уровня можно принимать их предельно допустимые значения, устанавливаемые исходя из условий нормальной эксплуатации земляного полотна, обеспечения его устойчивости. Вероятность выброса оценивается методами теории случайных функций. Принятие модели случайной функции оправдано тем, что влияние факторов на состояние процессов носит случайный характер, причем степень влияния отдельных из них изменяется во времени. Поэтому при всей сложности эта модель адекватно отражает свойства процессов.

Процессы, как правило, имеют тенденцию нестационарного случайного развития, хотя здесь не исключается стационарность их поведения при соответствующих условиях в целом или в определенные промежутки времени. Практическое использование модели нестационарного случайного процесса связано с преодолением ряда трудностей, как математического характера, так и ее информативного обеспечения. Это обусловлено зависимостью статистических свойств нестационарного процесса от времени, т.е. эти свойства будут иными с течением времени. Пока не разработана единая методика анализа любых нестационарных случайных процессов. Причина этого, в частности, состоит в том, что вывод о нестационарности процесса связывается с предположением об отсутствии свойств стационарности и не определяет точного характера нестационарности. В связи с этим часто при решении практических задач рассматриваются модели квазистационарных и стационарных процессов. Многие из встречающихся геологических и геотехнических процессов можно представить как квазистационарные случайные, т.е. как процессы, реализацию которых можно разбить на интервалы времени, продолжительность которых значительно дольше, чем продолжительность характерного времени корреляции, и, вместе с тем, позволяющие в пределах отдельных интервалов времени рассматривать процесс как стационарный.

Вероятностные характеристики таких процессов будут изменяться достаточно медленно. В простейшем виде такой процесс можно рассмотреть в виде

$$R(t) = A(t) * \varphi(t), \quad (3)$$

где $A(t)$ - детерминистическая функция, характерное время изменения которой достаточно велико по сравнению с характерным временем стационарного случайного процесса $\varphi(t)$

Рассматривая $A(t)$ как параметр, мгновенную спектральную плотность процесса $R(t)$ определяем как

$$S_R(\omega, t) = A^2(t) * S_\varphi(\omega), \quad (4)$$

где $S_\varphi(\omega)$ - спектральная плотность функции $\varphi(t)$.

Разбивая экспериментальную реализацию квазистационарного процесса на интервалы, определяя спектральную плотность для каждого интервала и считая в их пределах функцию стационарной, получим значения спектральной плотности в различные моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_n$. Интерполируя по всем t_i получим оценку для мгновенной спектральной плотности $S_R(\omega, t)$. Выбрав для данного процесса подходящую конкретную функцию $\varphi(t)$ из (3) можно оценить функцию $A(t)$.

Вероятность отсутствия выброса за фиксированный уровень (пересечения процессом заданного уровня) можно прогнозировать различными методами. Допустим, изменение параметра процесса выражается нестационарной случайной функцией $R(t)$ с математическим ожиданием $m_R(t)$ дисперсией $\sigma_R^2(t)$. При этом вероятность того, что функция $R(t)$ будет отклоняться от своего математического ожидания не меньше, чем на величину $E_R(t)$, ограничена сверху и определяется по равенству Чебышева

$$P_R \leq \frac{\sigma_R^2(t)}{E_R^2(t)}, \quad (5)$$

где $E_R(t) = R_i - m_R(t)$, здесь R_i – предельно допустимое значение функции $R(t)$.

Выражение (14) учитывает зависимость математического ожидания и дисперсии от времени. Если иметь функцию, экстраполируемую изменение во времени параметров $\sigma_R^2(t)$ и $E_R(t)$, то можно оценить вероятность отсутствия выброса параметров за заданное время t . Для экстраполяции, в частности, можно использовать следующую модель аналитического прогнозирования

$$Z(t) = \sum_{l=1}^{\mu} A_l F_l[R(t)], \quad (6)$$

где A_l – степенные адаптационные коэффициенты;

μ – степень базовых выражений $F_l[R, t]$, составляющих основу прогнозирующей формулы.

После получения функций типа (6) для математического ожидания и дисперсии, прогноз вероятности отсутствия (времени) выброса за фиксированный период времени осуществляется по выражению:

$$P_R(m) = \left[\sum_{i=1}^{\mu} A_i F_{\sigma i}(m) / \sum_{i=1}^{\mu} A_i F_{E i}(m) \right]^2 \quad (7)$$

где $F_{\sigma i}(m)$, $F_{E i}(m)$ - соответственно базовые выражения прогнозирующих формул для $\sigma_R(t)$ и $E_R(t)$;

m – количество шагов прогнозирования.

Если прогнозируется параметр с постоянным математическим ожиданием, то вероятность P_R отсутствия выброса устанавливается из неравенства Чебышева:

$$P|R - m_R| \geq E \leq \sigma_R^2(t)/E^2, \quad (8)$$

где E – допустимый интервал изменения функции $R(t)$.

В случае $R(t)$ стационарной случайной функции с постоянной дисперсией и математическим ожиданием прогноз вероятности отсутствия выброса за заданный уровень в течение фиксированного периода времени производится из неравенства: $P|R - m_R| \geq \sigma_R^2/E^2$, т.е. эта вероятность будет постоянной на весь период.

Если известна допустимая вероятность отсутствия выброса функции $R(t)$, то время достижения этой вероятности можно определить путем решения уравнения

$$Z_E(T)P^{\frac{1}{2}} = Z_\sigma(T) \quad (9)$$

где $Z_E(T)$ и $Z_\sigma(T)$ – соответственно значения экстраполирующих функций $Z_E(t)$ и $Z_\sigma(t)$ в момент времени T .

Метод решения (9) зависит от вида экстраполирующих функций $Z_E(t)$ и $Z_\sigma(t)$.

Приведенные выражения (5 - 9) учитывают изменения единого параметра, влияющую на состояние процесса. Чтобы составить по ним прогноз о поведении изучаемого процесса в целом, необходимо выявить параметры, которые существенно влияют на поведение процесса, и по значениям вероятности P_R или T следует определять для каждого параметра процесса, и в качестве прогнозных значений вероятности и времени отсутствия выброса, принимать их минимальные значения.

Влияние всех параметров $x_i(t)$, от которых зависит состояние процесса, на вероятность превышения процессом допустимого уровня можно установить с помощью неравенства Колмогорова:

$$P\{1 \leq i \leq k | \sum_1^i (x_i - m_{xi}) | \geq E\} \leq (\sum_1^k \sigma_{xs}^2)/E^2, \quad (10)$$

где E – допустимый интервал по всем параметрам процесса.

Приведенные методы определения вероятности отсутствия выброса и времени, за которое оно осуществляется – это упрощенные методы прогнозирования. Эти методы полезно использовать для получения ориентировочных значений параметров P_R и T при ограниченной информации, что часто встречается при изучении процессов.

Хотя на состояние процесса влияет ряд параметров, на практике при определенных упрощениях выделяется доминирующий параметр, и прогноз поведения процессов осуществляется с учетом изменения этого параметра. Например, о просадке судят по изменению влажности грунтов или подтоплению уровня грунтовых вод; состояние мерзлых грунтов прогнозируется на основании изменения теплового режима; состояние оползневого процесса, при прочих равных условиях, ставят в зависимость от влажности грунтов на контакте скольжения. Например, производятся режимные наблюдения за деформациями при оползнях, изменением уровня грунтовых вод, развитием просадок и т.д..

В таких случаях при изучении процессов можно использовать методы теории одномерных случайных функций, рассматривая в качестве параметра – время. В частности, вероятность выброса или время его отсутствия можно определить на базе методов изучения выбросов случайных процессов. Здесь возможность привлечения многомерных случайных функций не исключается, такие модели более адекватно отражают реальную картину. Однако в данной работе они не рассматриваются, так как при изучении процессов отсутствует достаточное количество информации для получения на их базе содержательных выводов и достоверного прогноза.

Рассмотрим случайный процесс $R(t)$, представляющий собой сумму детерминированной функции $A(t)$ и стационарной случайной составляющей $\varphi(t)$ с нулевым средним, дисперсией σ_R^2 , и корреляционной функцией $K(t)$. С учетом того, что в данном случае в фиксированные моменты времени значения случайной функции и ее производной независимы, среднее число выбросов за единицу времени в период T

$$v = \frac{\sigma_v}{2T\sigma_R\sqrt{2\pi}} \int_0^T [J + \sqrt{\frac{2}{\pi}} (e^{\frac{-J^2}{2}} + J \sqrt{\frac{\pi}{2}} [2F(J) - 1])] * -\frac{[b-A(t)]^2}{e^{2\sigma_R^2}} dt \quad (11)$$

где $J = \frac{A'(t)}{\sigma_v}$;

b - фиксированный уровень, за который выброс не допускается;

$F(J)$ - функция Лапласа;

σ_v^2 - дисперсия производной случайной функции.

В случае стационарного нормального процесса

$$v = \frac{\sigma_v}{2\pi\sigma_R} * e^{-\frac{(b-\bar{R})^2}{2\sigma_R^2}} \quad (12)$$

где $\sigma_v^2 = \frac{-d^2}{d\tau^2} K_R(\tau)$
 $\tau=0$

Выражение для определения числа выбросов в единицу времени нестационарного нормального случайного процесса с учетом коррелированности значений процесса и его производной приведено в работе [3].

На практике важно знать вероятность первого выброса и время достижения заданного уровня процессом. При известной вероятности выброса $P(t)$ среднее время достижения процессом уровня T определяется по соотношению

$$T_g = \int_0^\infty P(T) dt \quad (13)$$

На практике выбросы вовсе не допускаются или же являются редкими событиями. При предотвращении нового развития процесса практически полностью устраняются вызвавшие его первоначальные причины, а при частичном их сохранении они качественно по-иному влияют на состояние процесса. Это позволяет считать выбросы многих процессов независимыми событиями. При этом число выбросов за время T можно считать подчиняющимися закону Пуассона. Тогда вероятность отсутствия выбросов за время T

$$P_0 = e^{-vT} \quad (14)$$

В случае нормального стационарного процесса эта вероятность определяется из соотношения

$$P_0 = \text{EXP} \left\{ -\frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{-\ddot{K}_R(\tau)}{K_R(\tau)} \Big|_{\tau=0}} * e^{-\frac{(b-\bar{R})^2}{2\sigma_R^2}} \right\}, \quad (15)$$

где $\ddot{K}_R(\tau)$ - вторая производная от корреляционной функции $K_R(\tau)$

Конкретное выражение для корреляционной функции выбирается с учетом особенностей рассматриваемого процесса.

Если в качестве корреляционной функции принимать выражение

$$K_R(\tau) = \sigma_v^2 e^{-\alpha(\tau)} (\cos\beta\tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin\beta|\tau|), \quad (16)$$

то вероятность отсутствия выброса из соотношения (22) примет вид

$$P_0 = \text{EXP} \left[-\frac{T}{2\pi} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} * e^{-\frac{(b-\bar{R})^2}{2\sigma_R^2}} \right]. \quad (17)$$

Анализ выражения (17) показывает, что вероятность отсутствия выброса уменьшается с

возрастанием времени T , параметров корреляционной функции α и β , характеризующих структуру процесса, а также неоднородности процесса.

Средняя время достижения процессом уровня из (13)

$$T_{\varepsilon} = \frac{\sqrt{2\pi} e^{-\frac{(b-\bar{R})^2}{2\sigma_R^2}}}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}. \quad (18)$$

Как видно, время достижения процессом фиксированного уровня тем больше, чем однороднее процесс.

Отметим, что при рассмотрении геотехнических процессов вероятность отсутствия выброса должна быть не ниже требуемой надежности за весь период эксплуатации сооружения. А в качестве времени достижения допустимого значения можно принимать сроки эксплуатации дорожных сооружений.

Выводы

1. При изучении геотехнических процессов использованы модели теории одномерных случайных квазистационарных функций, рассматривая в качестве параметра – время.
2. Приведены методы прогноза параметров безопасной работы земляного полотна, в качестве которых приняты время и вероятность отсутствия выброса за заданный уровень.
3. Получены выражения, позволяющие прогнозировать геотехнические процессы, в частности, прогнозирование времени достижения процессом фиксированного уровня, в качестве допустимого значения которой, можно принимать сроки эксплуатации дорожных сооружений.
4. Показано, что с увеличением продолжительности рассмотрения процесса при соответствующих значениях параметров корреляционной функции вероятность отсутствия выброса, т.е. надежность работы земляного полотна, падает.

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. “Применение теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений” М., 1971. 255с.
3. Бабков В.Ф., О.В. Андреев “Проектирование автомобильных дорог” Ч I-II. - М.: Транспорт. 1979.
4. Вентцель Е.С. "Теория вероятностей", М., 1989, стр.572.
5. Гаскарев Д.В. и др. “Прогнозирование технического состояния надежности радиоэлектронной системы”. М.: 1974. 223с.
6. Гольцман Ф.М. “Статистические модели интерпретации” М.: 1971. 327с.
7. Ермолаев М.Н., Михеев В.В. "Надежность оснований сооружений", Л., 1976, стр. 151.
8. Коган М.С., Яковлев Ю.М. “Качество и надежность дорожного строительства”. М.: “Транспорт” 1982г.
9. Загиров Ш.Ш., Аллаев М.О. "О необходимой точности фиксации положений контактов слоев при оценке несущей способности свай"/ Актуальные вопросы строительства: тезисы докладов. Махачкала: ДГТУ, 1997. – С.78-79.
10. Загиров Ш.Ш. "Оптимизация инженерно-геологических изысканий", М.: Издательство ВЗПИ, 1990 , стр. 346 .