

А. А. АТАКИШЕВ

УДК 528.48

### О ПЛАНИРОВАНИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИИ ЗА КОЛЕБАНИЯМИ БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИИ

При планировании геодезических наблюдений за колебаниями башенных сооружений возникает ряд специфических вопросов, из которых к важнейшим относится вопрос об оптимальном размещении марок по стволу башен. Для этого желательно получение необходимой апостериорной информации о характере колебаний при минимальном количестве марок наблюдений. Как известно, геодезические методы позволяют вести наблюдения ограниченно численными точками. В связи с этим возникают определенные трудности, связанные с выбором количества измеряемых точек (узлов наблюдений) и их оптимальным размещением по стволу башни.

Измерение параметров колебаний может преследовать разные цели. Отметим наиболее важные из них, которые необходимо учесть при проектировании наблюдений:

измерения параметров колебаний при разных ветровых нагрузках с целью прогнозирования наступления предельных состояний; наблюдения основной частоты собственных колебаний с целью контроля за жесткостью сооружения.

Для выполнения поставленных задач должен быть разработан оптимальный проект схемы измерений и выполнена оценка ее качества, т. е. выбрана модель, адекватно описывающая колебания башни с помощью конечного числа наблюдаемых точек, исходя из расчетной схемы указанных сооружений.

При планировании натуральных измерений параметров колебаний каждого конкретного сооружения целесообразно использовать априорную информацию о его динамических характеристиках, т. е. сведения о диапазоне частот, амплитуд, форм колебаний.

В данном случае для описания перемещения сооружения наиболее целесообразно использовать собственные формы колебаний, исходя из динамического расчета. Модель колебаний представляем в виде

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i \Phi_i(x), \quad (1)$$

где  $\Phi_i(x)$  — формы собственных колебаний;  $a_i$  — коэффициенты уравнения регрессии.

При планировании геодезических наблюдений с учетом условия (1) возможны следующие случаи:

В сборнике публикуются статьи, в которых освещаются новые результаты в развитии теории и методов геодезической астрономии, теории фигуры Земли и планет, триангуляции, нивелирования, уравнительных вычислений, а также исследования в области изучения земной и астрономической рефракции, современных движений земной коры, геодезии и инженерной геодезии, картографии, фотограмметрии и аэрофотогеодезии, экономики геодезических работ, а также вопросы, оказывающие влияние на качество геодезических измерений и работоспособность геодезиста.

Для преподавателей, научных работников институтов, аспирантов и студентов геодезического профиля, а также работников геодезических и картографических учреждений.

Библиотеч. в конце статей.

*Редакция коллегия:* доц. канд. техн. наук Н. И. Крапов (отв. ред.), доц. канд. техн. наук Ф. Д. Заблоцкий (зам. отв. ред.), доц. канд. техн. наук И. Н. Гуля (отв. секр.), доц. канд. техн. наук П. В. Павлов, доц. канд. техн. наук В. А. Коваленко, А. Н. Колесник, проф., д-р техн. наук А. С. Лисичанский, проф., д-р техн. наук И. Ф. Монин, доц. канд. техн. наук Д. И. Маслиц, д-р техн. наук Г. А. Мешеряков, проф., д-р техн. наук А. Д. Островский, проф., д-р техн. наук В. М. Сердюков, проф., д-р техн. наук В. Я. Финковский.

Ответственный за выпуск доц. канд. техн. наук  
П. В. Павлов

Адрес редколлегии:  
290646 Львов-13, ул. Мира, 12.  
Львовский ордена Ленина политехнический институт  
им. Ленинского комсомола,  
геодезический факультет. Тел.: 39-88-32

Редакция научно-технической литературы  
Зав. редакцией М. П. Пайдей

Г 4902020000-069 506-87  
М225(04)-87

© Издательское объединение  
«Вища школа», 1987

1. Имеются полные априорные сведения о динамических характеристиках сооружения. Аналитический вид функции  $\varphi_i(x)$  известен.

2. Формы колебаний даны в табличном или матричном виде. При необходимости можно получить аналитические выражения функции  $\varphi_i(x)$ , удовлетворительно описывающие ординаты перемещения точек, не совпадающих с узлами интерполяции.

3. Вид функции (1) неизвестен. В этом случае можно использовать в качестве неизвестной функции полиномы или формы колебаний стержневых систем.

Наиболее благоприятен первый случай. При моделировании сооружений однородным стержнем постоянного поперечного сечения формы колебаний имеют вид

$$\varphi_i(x) = \text{ch } \lambda_i x - \cos \lambda_i x - \frac{\text{ch } \lambda_i l + \cos \lambda_i l}{\text{sh } \lambda_i l + \sin \lambda_i l} (\text{sh } \lambda_i x - \sin \lambda_i x), \quad (2)$$

где  $\lambda_i l$  — корни частотного уравнения, характеризующие граничные условия и зависящие от физико-механических и конструктивных особенностей сооружения;  $x$  — координаты ствола башни.

Планирование геодезических наблюдений целесообразно разделить на два этапа. Первый этап — априорное планирование. Второй — апостериорное планирование.

Результаты геодезических измерений обозначим через  $Y'$ . Уравнения поправок в сечении ( $x_s$ ) будут иметь вид

$$a_1 \varphi_1(x_s) + a_2 \varphi_2(x_s) + \dots + a_n \varphi_n(x_s) - Y'_s = v_s. \quad (3)$$

Коэффициенты нормальных уравнений получаем методом наименьших квадратов, исходя из уравнения поправок (3) (при  $n=3$ )

$$\varphi^T \varphi = \begin{bmatrix} [\varphi_1 \varphi_1] & [\varphi_1 \varphi_2] & [\varphi_1 \varphi_3] \\ [\varphi_1 \varphi_2] & [\varphi_2 \varphi_2] & [\varphi_2 \varphi_3] \\ [\varphi_1 \varphi_3] & [\varphi_2 \varphi_3] & [\varphi_3 \varphi_3] \end{bmatrix}. \quad (4)$$

При априорном планировании достаточно проанализировать коэффициенты нормальных уравнений (4).

Хорошая обусловленность матрицы (4) характеризуется значениям превышением по абсолютной величине квадратичных коэффициентов над неквадратичными.

Размещение марок в узлах колебаний (т. е.  $\varphi_i(x) = 0$ ) минимизирует определитель матрицы (4):

$$\det \varphi^T \varphi \rightarrow \min,$$

что является следствием грубого планирования. Для оптимального размещения узлов наблюдений (марок по стволу башни) необходимо выполнение условий:

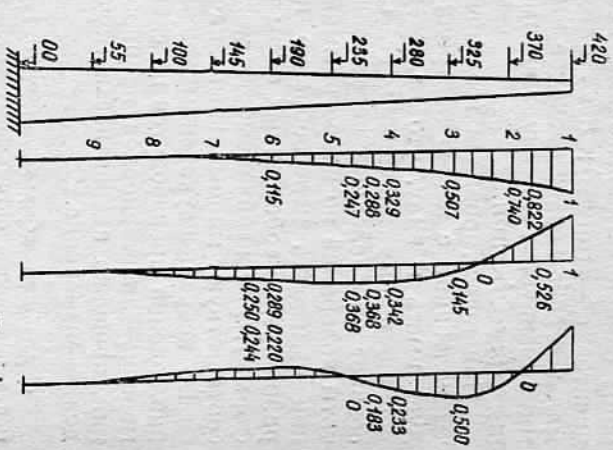
$$\begin{aligned} \det \varphi^T \varphi &\neq 0, \\ \det \varphi^T \varphi &\rightarrow \max. \end{aligned} \quad (5)$$

В качестве примера априорного планирования геодезических наблюдений за колебаниями башенных сооружений рассмотрим железобетонную трубу со следующими параметрами: высота 420 м, диаметр основания 18 м, диаметр верхней части 4 м [2]. Из динамического расчета железобетонной трубы [2] взяты расчетная схема и первые три формы собственных колебаний (см. рисунок).

Результаты расчетов (таблица, рисунок) показывают, что при размещении марок в районе узлов колебаний (в отметках 375 м, 340 м, 250 м) определитель стремится к нулю.

Анализ коэффициентов нормальных уравнений

| № отметки рас포ложения марок по стволу трубы, м | det $\varphi^T \varphi$ | Мера обусловленности |
|--|-------------------------|----------------------|
| 420  |                         |                      |
| 325  | 0,475                   | 2,7                  |
| 270  |                         |                      |
| 190  |                         |                      |
| 420  |                         |                      |
| 325  | 0,241                   | 3,5                  |
| 190  |                         |                      |
| 420  |                         |                      |
| 375  | 0,125                   | 10,5                 |
| 340  |                         |                      |
| 250  | 0,025                   | 20,7                 |



Собственные формы колебаний трубы: а — схема трубы; б — формы колебаний.

Максимальное значение определителя достигается при размещении марок в районе пучностей форм колебаний (в отметках 420 м, 325 м, 190 м).

Как видно из таблицы, с увеличением числа марок возрастает значение определителя, следовательно повышается эффективность наблюдений. При этом число марок не должно быть больше числа учитываемых форм колебаний (т. е. не более трех).

При апостериорном планировании по результатам геодезических измерений уточняются места расположения узлов наблюдений. Незвестные коэффициенты  $a_i$  определяются из решения системы нормальных уравнений

$$\varphi^T \varphi a - \varphi^T y' = 0. \quad (6)$$

Поэтому целесообразно использовать избыточное количество узлов наблюдений. Варьируя комбинацией узлов (исключая избыточные), добиваются оптимизации планирования наблюдений.

Критерии оптимальности удобно формулировать в терминах свойства матрицы  $M = \Phi^T \Phi$  или  $M^{-1}$  [1].

Для оптимального планирования целесообразно использовать следующие критерии оптимальности:

А — оптимальность минимизирует след ковариационной матрицы  $Q = M^{-1} = (\Phi^T \Phi)^{-1}$ ; минимизация следа ковариационной матрицы означает минимизацию средней дисперсии оценок коэффициентов  $a^T = (a_1, a_2, a_3)$ ; В — оптимальность минимизирует максимальное собственное значение этой матрицы; G — оптимальность минимизирует величину максимальной дисперсии функции (1)  $m^2 = m_1^T Q m_1$ .

При проектировании геодезических измерений основной частью колебаний с целью контроля за жесткостью сооружения следует иметь в виду, что наложение высших форм колебаний на первую форму колебаний (т. е. при  $\varphi_2(x) \rightarrow \text{max}$ ,  $\varphi_3(x) \rightarrow \text{max}$ ) создает определенные погрешности при определении первой частоты колебаний по виброграммам. В связи с этим при планировании измерений целесообразно измерять точки располагать в районе узлов собственных форм колебаний (в особенности второй формы), при необходимости могут быть найдены точки, которые соответствуют минимальным значениям  $\varphi_i(x) \rightarrow \text{min}$ ,  $i = 2, 3, \dots, n$ .

Во всех вышеуказанных случаях планирование геодезических наблюдений производится по схеме: априорное планирование — измерение — апостериорное планирование (оценка качества измерений, проверка адекватности модели, корректировка узлов наблюдений — измерение).

1. *Адамс Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М., 1976. 2. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. М., 1978.

Статья поступила в редакцию 07.02.86

УДК 528.46+528.74+550.34

Б. И. ВОЛОСЕЦКИИ, А. В. КЕНДЗЕРА, М. Н. КОНЕНКИНА

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ КРУПНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

При проектировании крупных атомных и тепловых электростанций возникает необходимость прогнозирования динамических деформаций оснований и фундаментов, вызываемых техногенными и эндогенными факторами. Строительство целого ряда ТЭС и АЭС в сейсмоактивных районах страны приводит к необходимости предрасчета значений динамических воздействий на основании фундаментов при землетрясениях максимальной возможной силы.

Значения воздействия сейсмического толчка на сооружение зависят от соотношения между динамическими параметрами этого объекта и спектральными характеристиками верхней толщи грунта и сооружений. Наибольшие деформации возможны в тех случаях, когда преобладающие (резонансные) периоды колебаний верхних слоев основания строительной площадки близки к периодам собственных колебаний инженерных сооружений.

В связи с этим возникает задача определения амплитудно-частотных характеристик колебаний при максимальных предполагаемых (расчетных) для данной конкретной строительной площадки сейсмических воздействиях.

Наиболее полную характеристику сейсмических воздействий задают с помощью расчетных акселерограмм, имитирующих возможные воздействия со стороны наиболее опасных очаговых зон. Одной из методов построения расчетных акселерограмм является получение их путем пересчета из записей максимальных событий, зарегистрированных на ближайших к строительной площадке сейсмостанциях.

Спектр записи сейсмических колебаний, полученной вне зоны неупругих изменений, можно приближенно представить в линейно-ризованном виде

$$Y(\omega) = W(\omega) \Psi R \Theta(\omega) N(\omega) S(\omega),$$

где  $W(\omega)$  — спектр колебаний, излучаемых из очага;  $\Psi$  — коэффициент, зависящий от диаграммы направленности излучения из очага на станцию;  $R$  — коэффициент, описывающий геометрическое расхождение лучевой трубки;  $\Theta(\omega)$  — частотная характеристика, описывающая затухание и дисперсию колебаний в транзитной среде за счет ее неидеальной упругости;  $N(\omega)$  — частотная характеристика верхней рыхлой части разреза земной коры, приближаемой в рассматриваемом случае горизонтально-слоистыми моделями вертикально-неоднородного полупространства с поглощением;  $S(\omega)$  — частотная характеристика регистрирующего прибора.

Если такое представление возможно, то комплексный спектр ускорений, наблюдаемых на некоторой площадке  $a(\omega)$ , будет связан со спектром записи, полученной вне ее  $Y(\omega)$  оператором, который легко построить, определив спектр излучения из очага через спектр записи и учитывая, что двойное дифференцирование смещений соответствует в частотной области умножению спектров на  $-\omega^2$ .

Следовательно, спектры акселерограмм, пересчитанные из записей сильнейших из зарегистрированных землетрясений, можно записать в виде

$$a(\omega) = -\omega^2 Y(\omega) \Psi_2 R_2 \Theta_2(\omega) N_2(\omega) \cdot \Psi_1 R_1 \Theta_1(\omega) N_1(\omega) \quad (1)$$

Индексами 1 и 2 обозначены величины, характеризующие пути распространения сейсмических волн к станции и к строительной площадке соответственно.