

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МАСШТАБА ЗАПИСЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИБОРА ГЕЙГЕРА КАК ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГИБОМЕРА С ПРОВОЛОЧНОЙ СВЯЗЬЮ

Розглядається методика визначення масштабу записів на віброграмі у разі використанні приладу Гейзера з врахуванням деформації дротяної в'язі між приладом і нерухомою точкою.

Рассматривается методика определения масштаба записей на виброграмме при использовании прибора Гейгера с учетом деформации проволочной связи между прибором и неподвижной точкой.

The paper studies a method of defining the scale of vibrato-recordings with the use of Geiger apparatus, with account of deformation of wire connection between the apparatus and the immovable point.

Для оценки надежности и экспериментального исследования действительной работы мостовых конструкций после завершения строительства и при эксплуатации больших и средних мостов проводятся их статические и динамические испытания. Проблема обеспечения необходимой точности получаемых результатов, особенно при динамических испытаниях, в значительной мере зависит от используемых приборов, методики проведения испытаний и определения масштабов записей.

При динамических испытаниях мостов и других конструкций для регистрации колебаний наряду с электрическими методами измерений на протяжении многих лет применяется универсальный прибор Гейгера, который может быть использован как виброграф, тензограф или динамический прогибомер [1–4]. В случае использования при испытаниях мостов прибора Гейгера как вибрографа с дополнительной инерционной массой и спиральной пружиной на виброграмме записываются только колебания конструкции относительно положения ее статического равновесия [1; 4]. Медленно изменяющаяся статическая составляющая прогибов пролетного строения не воспринимается, а нулевая линия на виброграмме оказывается волнообразной из-за крутильных колебаний дополнительной инерционной массы прибора, что затрудняет расшифровку записей и приводит к потере важной информации об изменении статических прогибов пролетного строения при проходе нагрузки по мосту.

Масштаб записей динамической составляющей на виброграмме выбирается фиксированным и в зависимости от принятого отношения плеч в рычажной системе прибора может быть установлен с увеличением M , равным 1,5;

3; 6; 12; 24 и более, однако при больших увеличениях появляются заметные погрешности из-за инерции подвижных частей прибора.

Для записи виброграмм с сохранением статической составляющей динамических перемещений необходимо использовать жесткую или упругую связь прибора с неподвижной точкой. Дополнительная инерционная масса в этом случае не используется. При испытаниях мостовых конструкций, расположенных высоко над землей или над водой использование жесткой связи прибора с неподвижной точкой в большинстве случаев практически невозможно, и поэтому используется упругая связь в виде стальной струны, которая устанавливается с начальным натяжением, для чего последовательно с проволочной связью используется дополнительный упругий элемент – пружина.

При прогибе конструкции деформируется и проволочная связь, и пружина. На записывающее устройство прибора Гейгера передается перемещение точки соединения проволочной связи с пружиной. При сопоставимой жесткости упругой проволочной связи и пружины воспринимаемое вибрографом перемещение будет меньше прогиба (перемещения) конструкции, что должно обязательно учитываться при определении фактического масштаба записей на виброграмме. Однако во всех публикациях по использованию универсального прибора Гейгера при динамических испытаниях мостов и других конструкций деформация проволочной связи не учитывается и считается, что проволочная связь работает как нерастяжимая гибкая нить. В данной работе приводится порядок учета влияния деформации проволочной связи на масштаб записей перемещений и колебаний испытываемых конструкций.

При динамических испытаниях мостов для регистрации колебаний пролетных строений прибор Гейгера в зависимости от местных условий может устанавливаться на неподвижном столике под пролетным строением или непосредственно на пролетном строении, как показано соответственно на рис. 1, а, б. В обоих случаях прибором воспринимается перемещение промежуточной точки *C* соединения проволоочной связи (струны) и пружины, величина которого пропорциональна перемещению точки *A* испытываемой конструкции относительно неподвижной точки *B*, в качестве которой могут быть использованы свайка или груз, уложенный на грунт либо опущенный на дно реки.

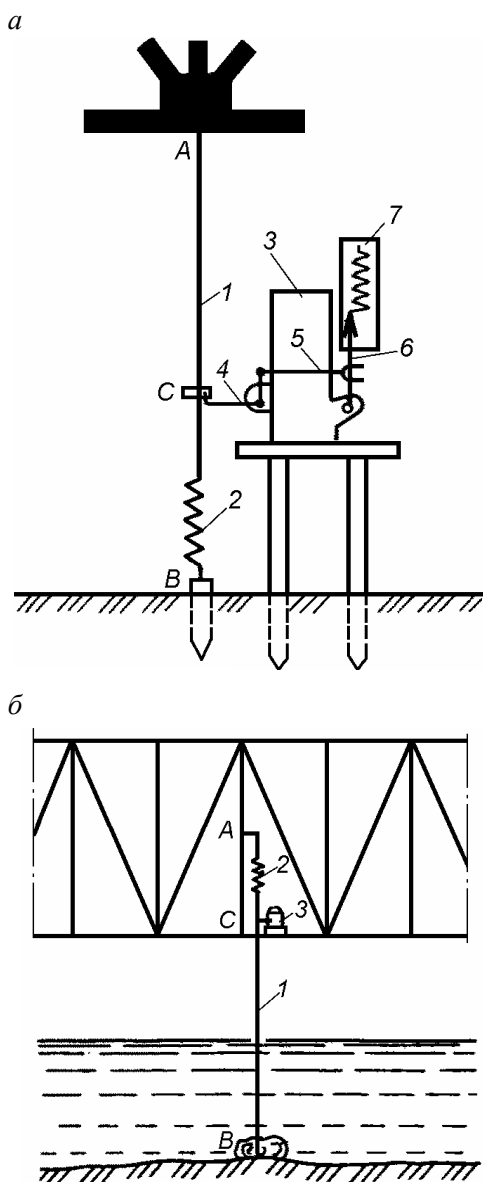


Рис. 1. Схемы установки прибора Гейгера: а – установка на столике под пролетным строением; б – установка на пролетном строении; 1 – проволоочная связь; 2 – пружина; 3 – прибор Гейгера; 4 – Г-образный рычаг; 5 – передаточная игла; 6 – перо-рычаг; 7 – бумажная лента.

С учетом работы струны и пружины в упругой стадии величина перемещения точки *C* относительно корпуса прибора будет определяться по следующим формулам:

- при установке прибора на неподвижном столике под мостом (см. рис. 1, а)

$$y_c = \frac{\delta_{\text{пр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{стр}}} \cdot y_A = \alpha y_A; \quad (1)$$

- при установке прибора на пролетном строении (см. рис. 1, б)

$$y_c = y_A - \frac{\delta_{\text{стр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{стр}}} \cdot y_A = \left(1 - \frac{\delta_{\text{стр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{стр}}} \right) y_A = \frac{\delta_{\text{пр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{стр}}} \cdot y_A = \alpha \cdot y_A, \quad (2)$$

где α – поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение устанавливаемого на приборе масштаба (общего передаточного числа в рычажной системе записи) из-за наличия упругих деформаций пружины и струны

$$\alpha = \frac{\delta_{\text{пр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{стр}}};$$

$\delta_{\text{пр}}$ – удлинение (податливость) пружины под действием единичной силы, м/Н; $\delta_{\text{стр}}$ – удлинение струны от единичной силы, м/Н. Заметим, что

$$\delta_{\text{пр}} = 1/C_{\text{пр}} \quad \text{и} \quad \delta_{\text{стр}} = 1/C_{\text{стр}},$$

где $C_{\text{пр}}$ и $C_{\text{стр}}$ – соответственно жесткости пружины и струны, Н/м, поправочный коэффициент α к масштабу записей в случае использования упругой связи прибора с неподвижной точкой при обоих способах его установки (под пролетным строением или на пролетном строении) может определяться зависимостями

$$\alpha = \frac{\delta_{\text{пр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{стр}}} = \frac{C_{\text{стр}}}{C_{\text{пр}} + C_{\text{стр}}}. \quad (3)$$

С увеличением длины и уменьшением диаметра струны деформативность её увеличивается, а величина коэффициента α при неизменной податливости пружины уменьшается. В случае, если

$$\delta_{\text{стр}} = \delta_{\text{пр}}, \quad \alpha = \frac{\delta_{\text{пр}}}{\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{пр}}} = 0,5$$

и масштаб записей уменьшается в два раза. Если $\delta_{стр} = 0,25\delta_{пр}$, масштаб записей уменьшается на 20 %.

При абсолютно жесткой связи прибора с неподвижной точкой $\alpha = 1$, а масштаб записей определяется принятым при испытаниях отношением плеч элементов рычажной системы записи прибора.

Податливости или жесткости струны и пружины могут быть определены расчетным путем для соответствующих условий испытаний и принятых параметров струны и пружины по известным формулам. Однако для определения действительного масштаба записей удобнее производить тарировку (градировку) всей измерительной системы на объекте после установки прибора, начального натяжения струны и пружины и выбора приемлемого передаточного числа M рычажного устройства системы записи.

Задачей тарировки является построение тарировочного графика зависимости величин ординат Δ на ленте пишущего устройства прибора от задаваемых известных перемещений конструкции δ , проверка линейности этой зависимости и определение действительного масштаба записей с увеличением M_d , которое вычисляется по формуле

$$M_d = \frac{\Delta_i - \Delta_0}{\delta_i - \delta_0} = \alpha_T M, \quad (4)$$

где в числителе приведено приращение ординат Δ графика в пределах его линейного участка, а в знаменателе – соответствующее изменение перемещений δ , задаваемых при тарировке; α_T – экспериментальное значение поправочного коэффициента к установленному на приборе масштабу записей M .

Перемещения δ задаются при помощи тарировочно-натяжного устройства с известным постоянным шагом в пределах всего диапазона ожидаемых прогибов конструкции при колебаниях. Натяжное устройство имеет винт с шагом резьбы $h_p = 1$ мм и включается последовательно со стальной струной в точке A при установке прибора Гейгера под пролетным строением (рис. 1, *a*) или в точке B при установке прибора на пролетном строении (рис. 1, *б*). Ослабление начального натяжения струны при тарировке имитирует прогиб пролетного строения вниз. Если при испытаниях ожидается перемещение пролетного строения вверх, то тарировка производится с увеличением натяжения струны.

При тарировке автоматически учитываются жесткости струны и пружины, а также возможные дополнительные упругие податливости в их креплениях.

Равенства (4) позволяют получить по результатам тарировки для конкретных условий испытаний действительный масштаб записей (увеличение M_d) с необходимой точностью и учетом всех действующих факторов и величину экспериментального значения поправочного коэффициента α_T по формуле

$$\alpha_T = \frac{\Delta_i - \Delta_0}{(\delta_i - \delta_0)M}. \quad (5)$$

В качестве примера в табл. 1 приведены результаты тарировки всей измерительной системы при установке прибора на пролетном строении и расположении натяжного устройства у неподвижной точки B . График тарировки показан на рис. 2 (линия 1).

Таблица 1
Определение масштаба записей по результатам тарировки при $M = 3$

Задаваемое перемещение точки B δ , мм	Перемещение пера на ленте Δ , мм	Поправочный коэффициент α_T	Масштаб записи на ленте $M_d : 1$
0	0	–	–
5	10,8	0,72	2,16 : 1
10	21,6	0,72	2,16 : 1
15	32,4	0,72	2,16 : 1
20	43,2	0,72	2,16 : 1

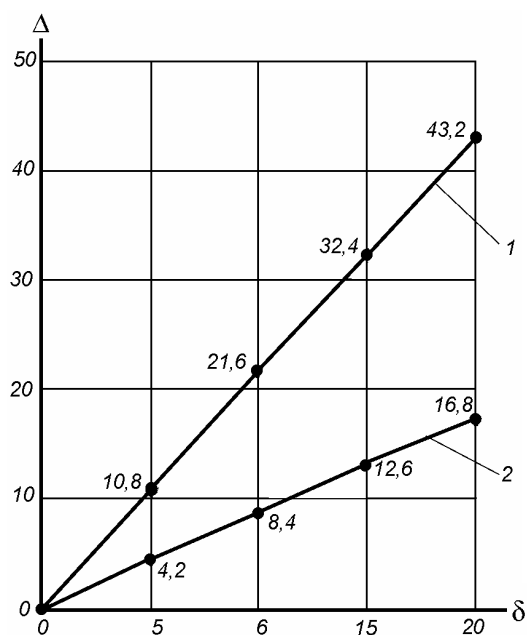


Рис. 2. Тарировочные графики:
1 – при расположении натяжного устройства у точки B ;
2 – при расположении натяжного устройства у точки A

Такие же результаты тарировки оказываются в случае установки прибора на неподвижном столике под пролетным строением и расположении натяжного устройства на пролетном строении у точки A .

Следует отметить, что по местным условиям испытаний (при наличии под пролетным строением воды, крутого склона или ущелья) прибор Гейгера устанавливается на пролетном строении, а натяжное устройство включается последовательно с пружиной в месте прикрепления ее к пролетному строению в точке A (см. рис. 1, б).

В этом случае поправочный коэффициент α_T к масштабу записей будет определяться по следующим формулам:

$$\alpha_T = (1 - \alpha'_T); \quad \alpha'_T = \frac{\Delta'_i - \Delta'_0}{(\delta_i - \delta_0)M}, \quad (6)$$

где α'_T – коэффициент, определяемый в зависимости от задаваемых при помощи натяжного устройства перемещений δ в точке A прикрепления пружины к пролетному строению; Δ' – соответствующие перемещения на ленте прибора при тарировке.

Учитывая зависимость (6), действительный масштаб записей будет иметь увеличение

$$M_d = (1 - \alpha'_T)M = \left(1 - \frac{\Delta'_i - \Delta'_0}{(\delta_i - \delta_0)M}\right)M, \quad (7)$$

где M – устанавливаемый масштаб увеличения рычажной системы прибора.

Результаты вычислений по формулам (6) и (7) при тех же жесткостях пружины и струны приведены в табл. 2, а график тарировки – на рис. 2 (линия 2).

В обоих случаях, как и следовало ожидать, поправочный коэффициент α_T и масштаб записи оказались одинаковыми и постоянными для всего диапазона задаваемых перемещений. Это свидетельствует о том, что пружина и проволоочная связь работали в упругой стадии, а обезгруживания проволоочной связи и струны при отпуске натяжения не происходило.

Таблица 2
Определение масштаба записи по результатам тарировки при установке натяжного устройства последовательно с пружиной при $M = 3$

Задаваемое перемещение точки A δ , мм	Перемещение пера на ленте Δ' , мм	α'_T	Поправочный коэффициент $\alpha_T = (1 - \alpha'_T)$	Масштаб записи на ленте $M_d : 1$
0	0		–	–
5	4,2	0,28	0,72	2,16 : 1
10	8,4	0,28	0,72	2,16 : 1
15	12,6	0,28	0,72	2,16 : 1
20	16,8	0,28	0,72	2,16 : 1

Величина поправочного коэффициента к масштабу записей с учетом всех местных условий, параметров струны и пружины оказалась равной 0,72, что соответствует уменьшению масштаба на 28 %.

После завершения тарировки и определения масштаба записи натяжение проволоочной связи (струны) и пружины следует вернуть в исходное состояние.

В заключение следует отметить, что определение масштабов записей на виброграмме предложенным способом позволяет обеспечить необходимую точность измерений при динамических испытаниях мостов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аистов Н. Н. Испытание сооружений., – Л.: Госстройиздат, 1960. – 316 с.
2. Кирилов В. С. Эксплуатация и реконструкция мостов и труб на автомобильных дорогах. – М: Транспорт, 1971. – 196 с.
3. Осипов В. О. Содержание и реконструкция мостов / В. О. Осипов, Ю. О. Козьмин, В. С. Анусперовский и др.; Под ред. В. О. Осипова. – М: Транспорт, 1986. – 326 с.
4. Лучко Й. Й. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів і конструкцій / Й. Й. Лучко, П. М. Коваль, М. Л. Дем'ян. – Львів: Каменяр, 2001. – 434 с.

Поступила в редколлегию 29.09.2004.