

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ИСПЫТАНИЙ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИИ МЕДЛЕННО ДВИЖУЩЕЙСЯ НАГРУЗКОЙ

Розглянуто порядок обробки експериментальних даних випробувань мостових конструкцій навантаженням, що повільно рухається, з метою побудови натурних ліній впливу.

Ключові слова: випробування, мостова конструкція, обробка даних, лінія впливу

Рассмотрен порядок обработки экспериментальных данных испытаний мостовых конструкций медленно движущейся нагрузкой с целью построения натурных линий влияния.

Ключевые слова: испытания, мостовая конструкция, обработка данных, линия влияния

A way of data processing from the bridge structures tests under slowly moving load is considered. In-situ influence lines are obtained from the experimental data.

Keywords: test, bridge structure, data processing, influence line

Главной целью проведения испытаний мостовых конструкций медленно движущейся нагрузкой является построение натурных линий влияния прогибов, перемещений, напряжений, усилий и т. п. в характерных и ответственных местах таких конструкций. Это, как правило, прогибы в серединах пролётов а так же фибровые деформации в наиболее напряжённых элементах и сечениях пролётных строений.

Сравнение натурных линий влияния с теми, по которым производился расчет мостовой конструкции при проектировании, позволяет оценить: насколько корректно была выбрана расчётная схема; насколько она соответствует действительной работе сооружения под воздействием временной подвижной нагрузки. А так же даёт возможность выявить скрытые резервы грузоподъёмности, решать вопросы, связанные с пропускам сверхнормативных нагрузок и т. п.

Таким образом, натурные линии влияния каждого конкретного, находящегося в эксплуатации, сооружения являются универсальными носителями информации о его фактических жёсткостных и прочностных характеристиках.

Традиционно натурные линии влияния строятся по данным статических испытаний. Однако, для этого требуется значительное число различных установок испытательной нагрузки на проезжей части моста, что в свою очередь ведёт к большим затратам времени на проведение таких испытаний.

Существенно сократить продолжительность проведения испытаний позволяет применение современной измерительной и регистрирующей аппаратуры, фиксирующей с высокой частотой считывания все контролируемые параметры

(прогибы, фибровые деформации) при медленном поступательном движении испытательной нагрузки. При этом, каждый раз в память компьютера заносится время с момента начала записи процесса перемещения испытательной нагрузки по пролётному строению и, соответствующее этому времени, показания датчиков, установленных на нём.

То есть, экспериментальные данные, снимаемые с каждого датчика, представляют собой массив, состоящий из пар чисел (t_i – время, y_i – показание датчика).

Поскольку линия влияния – это функция $f(x)$, аргументом которой является не время t , а координата x положения единичной силы на проезжей части моста, то при обработке экспериментальных данных необходимо прежде всего заменить t_i (время, фиксирующее момент снятия с датчика показания y_i) на x_i – координату положения испытательной нагрузки на пролётном строении в момент снятия показания y_i .

При равномерном поступательном движении испытательной нагрузки вдоль всей длины пролётного строения ℓ такая замена может быть произведена по формуле:

$$x_i = \frac{\ell \cdot i}{n}, \quad (1)$$

где: ℓ – длина пролётного строения; $i = 0..n$ – номер, считываемого с датчика показания; n – номер последнего показания датчика, соответствующий положению испытательной нагрузки в конце пролётного строения.

На практике первый этап обработки может быть реализован таким образом: массив данных из файла, куда они записывались при испытаниях и хранились в памяти компьютера, экспортируются в электронные таблицы Excel и там производятся вычисления по формуле (1).

На следующем этапе обработки данных с целью построения по ним натурной линии влияния возникает задача аппроксимации дискретной зависимости, представленной массивом из пар чисел (x_i, y_i) , непрерывной функцией $F(X)$.

При этом функция $F(X)$ (назовём её функцией загрузки) должна быть максимально избавлена от шумовой компоненты измерений, практически всегда присутствующей в считываемых с датчиков и заносимых в память компьютера показаниях.

То есть, фактические показания датчиков y_i тем или иным образом подлежат фильтрации и сглаживанию (например, наперёд задаваемой аналитической зависимостью между ближайшими соседними значениями y_i).

Для решения этой задачи удобно воспользоваться возможностями, предоставляемыми математическим приложением Mathcad.

Так, в Mathcad имеется целый арсенал встроенных функций, позволяющих осуществлять самую различную регрессию, интерполяцию-экстраполяцию и сглаживание данных.

Удовлетворительные результаты в нашем случае даёт локальное сглаживание адаптивным алгоритмом, основанное на анализе ближайших соседей каждой пары данных (x_i, y_i) .

В принятой в Mathcad форме запись этой процедуры выглядит следующим образом:

$$z := \text{supsmooth}(x, y), \quad (2)$$

где: x – вектор действительных значений аргумента (координаты); y – вектор действительных значений показаний датчика; z – вектор сглаженных значений показаний датчика.

Вслед за сглаживанием проводится сплайн-интерполяция (например, при помощи кубического сплайна):

$$s := \text{cspline}(x, y), \quad (3)$$

$$F(X) := \text{interp}(s, z, X) \quad (4)$$

Необходимо отметить, что после выполнения вышеприведенных процедур сглаживания и интерполяции данных наблюдается некоторое (до 10 %) уменьшение их максимальных значе-

ний. И, что бы его компенсировать, представляется целесообразным ввести к функции $F(X)$ соответствующий поправочный множитель.

Следующий этап обработки данных непосредственно связан с нахождением по функции загрузки пролётного строения испытательной нагрузкой $F(X)$ искомой функции $f(x)$ – натурной линии влияния.

В зависимости от характера воздействия на проезжую часть моста испытательной нагрузки (в виде сосредоточенных сил от колёс железнодорожного транспорта или распределённой гусеничной нагрузки) и направлении её движения (вдоль или поперёк проезжей части моста) в статьях [1], [2], [3] приводятся соответствующие алгоритмы вычислений.

Для примера рассмотрим случай построения натурной линии влияния прогиба железнодорожного пролётного строения в середине его длины.

Заметим, что для железнодорожных мостов в качестве испытательной нагрузки удобнее всего использовать локомотивы. У такой нагрузки одинаковое давление на все оси и она, как правило, симметрична относительно середины своей длины. При движении в одном и противоположном направлениях (а челночные заезды при проведении испытаний желательны) порядок «вкапывания» осей локомотива на пролётное строение не меняется, что делает программирование для разных направлений его движения полностью совпадающим.

Алгоритм вычисления ординат натурной линии влияния для рассматриваемого случая имеет вид:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{P_0} [F(x) - (P_1 f(x-a_1) + \dots + P_n f(x-a_n))], & 0 \leq x \leq \ell; \\ 0, & x < 0 \vee x > \ell. \end{cases} \quad (5)$$

где P_0, P_1, \dots, P_n – сосредоточенные силы, передаваемые на рельсы от передней и всех последующих осей локомотива; a_1, a_2, \dots, a_n – расстояния от передней оси локомотива до последующих его осей; ℓ – длина пролётного строения.

На практике попытка вычисления ординат натурной линии влияния по алгоритму (5) в среде Mathcad успехом не увенчалась из-за неприемлемо больших затрат времени (расчёт вёлся более суток, а результат так и не был получен). Зато в электронных таблицах Excel (с

рядом дополнительных подготовительных процедур) такой расчет был успешно реализован.

Подготовительные процедуры сводились к вычислению значений функции загрузки $F(X)$ во всей области её определения (на всей длине пролётного строения ℓ) с шагом Δ и их экспорта из Mathcad обратно в Excel.

Выбор шага Δ обусловлен схемой расположения осей локомотива, а точнее – Δ должно равняться наибольшему общему кратному расстояний между передней осью локомотива и его последующими осями.

При таком выборе шага, в каком бы месте пролётного строения с координатой x кратной Δ не находилась передняя ось локомотива, все остальные его оси так же будут иметь координаты кратные Δ . Это обстоятельство позволяет производить вычисления искомых ординат линии влияния в электронных таблицах последовательно с шагом Δ .

При необходимости, экспортируя в очередной раз результаты расчёта из Excel в Mathcad, можно проведя интерполяцию, вычислять значения ординат линии влияния в любом месте с координатой x не обязательно кратной Δ .

Таким образом, при обработке экспериментальных данных испытаний мостовых конструкций с целью построения по ним натуральных линий влияния пока приходится использовать сразу два математических приложения Mathcad и Excel, что не совсем удобно.

Нуждается в совершенствовании и методика проведения испытаний. Для повышения точности окончательных результатов следует пере-

ти к непосредственной записи координаты (положения) испытательной нагрузки на проезжей части моста в момент снятия показания датчика, а не устанавливая такую связь по времени снятия очередного показания. Это обусловлено тем, что добиться строго равномерного движения испытательной нагрузки, как показывает опыт, весьма сложно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухоруков, Б. Д. Алгоритм вычисления ординат линий влияния по экспериментальным данным [Текст] / Б. Д. Сухоруков // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 22. – Д: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 125-128.
2. Сухоруков, Б. Д. Построение линий влияния по осциллограммам загрузки мостовых конструкций медленно движущейся испытательной нагрузкой [Текст] / Б. Д. Сухоруков // Сб. научн. трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение», серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. – 2008. – Вип. 47. – Д: Изд-во ПГАСА, 2008. – С. 460-467.
3. Сухоруков Б. Д. Испытания пролётных строений мостов медленно движущейся нагрузкой [Текст] / Б. Д. Сухоруков // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 33. – Д: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 278-281.

Поступила в редколлегию 25.11.2011.

Принята к печати 25.12.2011.