



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2011, ТОМ 7, № 2, 65–74

УДК 624.014.059.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ У ФЕРМОВИХ КОНСТРУКЦІЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО СТЕНДУ

Є. В. Денисов

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: denissovet@ukr.net

Отримана 6 березня 2011; прийнята 27 травня 2011.

Анотація. У статті приведені методика проведення і результати експериментальних досліджень вібраційного методу визначення подовжніх зусиль в стержнях фермових конструкцій. Випробування здійснювалися за допомогою спеціалізованого випробувального стенду, який головним чином дозволяє змінювати довжину і відповідно гнучкість випробовуваного елемента, а також величину і знак подовжнього зусилля в ньому. Подовжнє зусилля визначалося двома незалежними методами – тензометрії та вібраційним. Розрахункові параметри динамічної моделі вібраційного методу – ефективна довжина стержня і умови його кінцевих закріплень, уточнювалися за допомогою способу варіації мас. Окрім способу варіації мас для визначення величин коефіцієнтів кутової жорсткості опор використовувалися статичні випробування стержня зосередженим поперечним навантаженням в середині прольоту з подальшою побудовою епюри моментів і її аналізом. Для кожного з методів визначення подовжніх зусиль визначався діапазон можливих помилок вимірів і розрахунків. У результаті аналізувалися розбіжності середніх значень і довірчих інтервалів зусиль, отриманих двома методами.

Ключові слова: вібраційний метод, спосіб варіації мас, динамічні випробування.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ В ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СТЕНДА

Е. В. Денисов

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: denissovet@ukr.net

Получена 6 марта 2011; принята 27 мая 2011.

Аннотация. В статье приведены методика проведения и результаты экспериментальных исследований вибрационного метода определения продольных усилий в стержнях ферменных конструкций. Испытания производились при помощи специализированного испытательного стенда, который главным образом позволяет изменять длину и соответственно гибкость испытываемого элемента, а также величину и знак продольного усилия в нем. Продольное усилие определялось двумя независимыми методами – тензометрии и вибрационным. Расчетные параметры динамической модели вибрационного метода – эффективная длина стержня и условия его концевых закреплений – уточнялись при помощи способа вариации масс. Помимо способа вариации масс для определения величин коэффициентов угловой жесткости опор использовались статические испытания стержня сосредоточенной поперечной нагрузкой в середине пролета с дальнейшим построением эпюры моментов и ее анализом. Для каждого из

методов определения продольных усилий определялся диапазон возможных ошибок измерений и расчетов. В итоге анализировались расхождения средних значений и доверительных интервалов усилий, полученных двумя методами.

Ключевые слова: вибрационный метод, способ вариации масс, динамические испытания.

VIBRATING METHOD OF EFFORTS DETERMINATION IN A TRUSS STRUCTURE USING A SPECIAL STAND

Denisov Evgeniy

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

E-mail: denissovev@ukr.net

Received 6 March 2011; accepted 27 May 2011.

Abstract. Methodology of realization and results of experimental researches of the vibration method of determination of longitudinal efforts in the bars of truss structure are given in the article. Tests have been carried out with the help of a special experimental stand, that mainly allows to change the length and flexibility of an examinee element correspondently, and also the size and the sign of a longitudinal effort in it. The longitudinal effort has been determined with two independent methods – strain measurement and vibration. Calculation parameters of a dynamic model of vibration method they are effective length of the bar and condition of its end-capping fixing have been specified by the way of weights-variation method. Besides the method of weights-variation for determination of coefficients values of angular inflexibility of supports the bar has been tested statically by means of a point transversal load in the middle of the span with the further moment diagram and its analysis. For every method of determination of longitudinal efforts the range of possible errors of measuring and calculations has been considered. Finally divergences of middle values and confidence intervals of the efforts got with two methods have been analyzed.

Keywords: vibration method, weights-variation method, dynamic tests.

Введение

Определение НДС эксплуатируемых конструкций посредством экспериментальных методов не получила на сегодняшний день широкого распространения. Применение широко распространенных методов контроля приращений деформаций – тензометрии, фотометрии и др., как правило, в натурных условиях затруднительно, поскольку требует дополнительных нагрузок на конструкции [9, 13]. Помимо этого, подобные методы не дают количественной характеристики НДС эксплуатируемой конструкции. Существуют и другие методы, реализация которых зачастую не требует дополнительных нагрузок и дает количественный результат [13]. Одним из

таких методов в области диагностирования ферменных конструкций является вибрационный метод [2, 4, 5], который благодаря исследованиям Пикулева Н. А., Сперанского Б. А., Судакова В. В. получил распространение при контроле продольных усилий в арматурных стержнях и канатах. В основе вибрационного метода лежит зависимость частоты собственных поперечных колебаний стержня от продольного усилия в нем.

Для определения усилий в элементах ферменных конструкций вибрационный метод был создан в 70-е годы прошлого века учеными ЦНИИПСК, среди которых следует отметить Файнберга И. И. [12, 14], Лурье Ф. М. [10–12], Трулля В. А. и др. Однако созданный метод на

сегодняшний день не получил распространения. Основной причиной этого является сложность его практического применения. В отличие от арматурных стержней и канатов точность вибрационного метода для ферменных конструкций очень чувствительна к определению расчетной длины стержня и условий его закрепления. В этой связи учеными ЦНИИПСК сформулированы фундаментальные принципы уточнения этих параметров динамической модели вибрационного метода на основе их экспериментального определения. Для уточнения параметров динамической модели были предложены два способа. Первый способ – способ дополнительной нагрузки, предполагает уточнение длины стержня и коэффициентов угловой жесткости опор на основе создания в стержне известной добавки продольного усилия и определение обусловленного этим приращением частоты собственных колебаний. Однако и процесс создания подобной добавки усилия в натурных условиях и процесс экспериментального контроля ее величины является достаточно сложными. Второй способ – способ дополнительных связей, предполагает установку дополнительной П-образной рамки в конструкцию. Трудоемкость этого способа не меньше, чем предыдущего, особенно если учесть, что изгибная жесткость элементов рамки должна быть на порядок больше изгибной жесткости стержней конструкции.

Автором был предложен принципиально новый способ, позволяющий производить уточнение параметров динамической модели вибраци-

онного метода экспериментальным путем – способ вариации масс [15]. Настоящий способ предполагает определение параметров расчетной длины и коэффициентов жесткости опорных закреплений стержня на основе значений частоты колебаний стержня в некоторых состояниях, когда на стержне в определенных точках закрепляется дополнительная, заранее известная масса.

Специализированный стенд для экспериментальных исследований вибрационного метода

Стержневые элементы в составе ферменной конструкции находятся в одноосном напряженном состоянии с различным продольным усилием по знаку и величине. Также стержни ферм имеют различную гибкость, граничное значение которой ограничено нормами проектирования. Для варьирования этих параметров при экспериментальном исследовании вибрационного метода был разработан и изготовлен специализированный стенд [7] на основе модели фрагмента фермы (рис. 1). Главным образом стенд позволяет изменять эффективную длину испытываемого элемента, величину относительных коэффициентов угловой жесткости опор, а также величину и направление продольного усилия в стержне. Испытываемый (рабочий) стержневой элемент 1 и элементы решетки 2 формируют фрагмент ферменной конструкции и при нагружении находятся в одноосном напряженном состоянии.

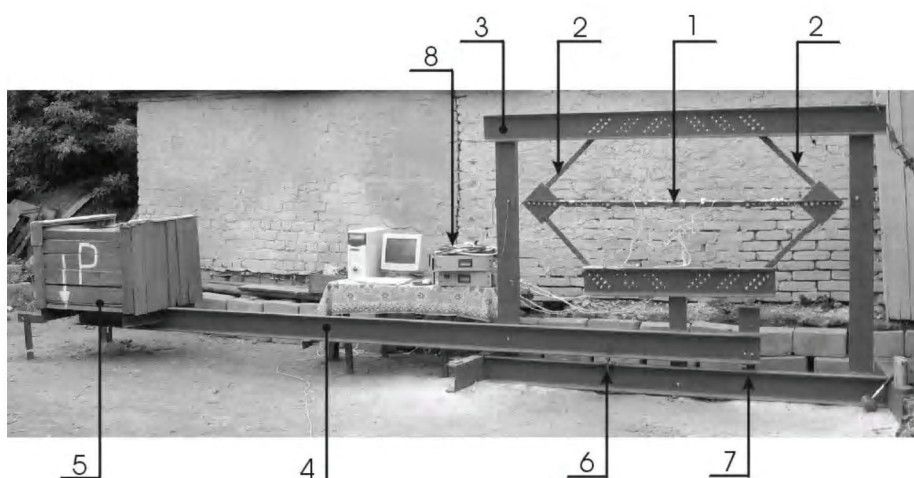


Рисунок 1. Стенд для проведения вибрационных испытаний: 1) испытываемый стержневой элемент; 2) элементы решетки; 3) силовая рама; 4) рычаг; 5) ящик для грузов; 6) опора рычага № 1; 7) опора рычага № 2; 8) измерительная аппаратура.

Изменение длины испытываемого элемента достигается путем смещения узлов закрепления стержня к середине (рис. 2). При этом возможны три значения длины стержня в осях – 2,187; 1,787; 1,387 м, что для принятого при испытаниях сечения из спаренных в тавр уголков 40×40 соответствует значениям гибкости соответственно 179,3; 146,5; 113,7.

Изменение знака продольного усилия в рабочем стержне достигается путем установки различных опор рычага: установка опоры № 1 (поз. 6) приводит к появлению в рабочем стержне усилий растяжения, установка опоры № 2 (поз. 7) – усилий сжатия. Принципиальная кинематическая схема работы конструкции при установке различных опор приведена на рис. 3.

Методика проведения испытаний

Структура экспериментальных исследований была разбита на отдельные этапы и стадии. На каждом этапе осуществлялось изменение эффективной длины стержня, а на каждой стадии изменялось направление продольного усилия в элементе (сжатие или растяжение). На последнем этапе испытаний изучалось влияние несовершенств в виде высверленных отверстий на точность метода. Величина продольного усилия в элементе на каждой стадии изменялась последовательно в 6–7 шагов нагружения.

На каждой стадии испытаний производились как динамические, так и статические испытания. Целью статических испытаний является



Рисунок 2. Изменение эффективной длины испытываемого элемента на разных этапах испытаний.

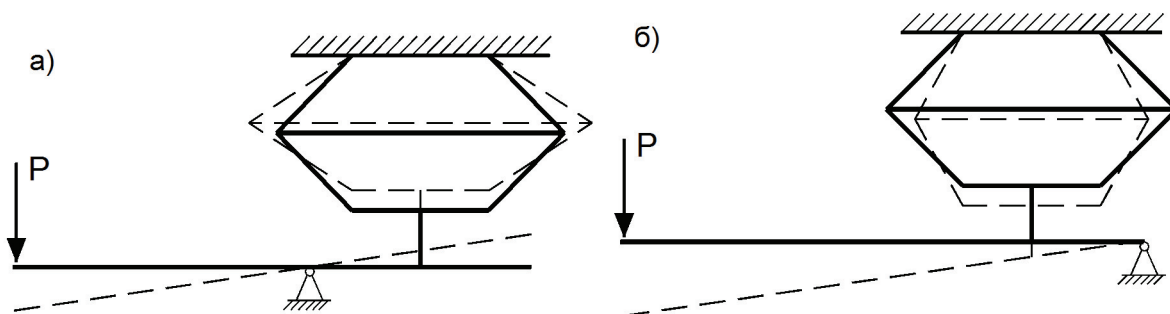


Рисунок 3. Принципиальная кинематическая схема работы стенда: а) при установке опоры № 1 и деформации растяжения испытываемого стержня; б) при установке опоры № 2 и деформации сжатия испытываемого стержня.

определение коэффициентов угловой жесткости по характеру эпюры изгибающих моментов, полученной при действии на стержень сосредоточенной нагрузки, перпендикулярной к оси стержня. Практически статические испытания осуществлялись следующим образом: на стержне в 4-х сечениях размещались тензодатчики, в необходимом количестве для определения всех внутренних силовых факторов. Рабочий стержень нагружался в точке, близкой к середине стержня, сосредоточенной нагрузкой (рис. 4 а). Для уменьшения ошибок производилось несколько измерений с различными значениями сосредоточенной нагрузки. Фиксировались значения показаний тензодатчиков, по которым затем определялись изгибающие моменты и, по полученной эпюре моментов (рис. 4 б), определялись коэффициенты угловой жесткости опор стержня.

Для уменьшения ошибок, связанных конструктивно нелинейной особенностью болтовых соединений, статические испытания на каждой

стадии проводились 2 раза: первый раз при небольшой нагрузке; второй – при максимальной нагрузке на данной стадии.

Размещение тензодатчиков определялось условием сбора информации как от дополнительной поперечной нагрузки, так и для случая общей нагрузки на рычаг стэнда. При этом важно представить напряженное состояние элемента в каждом сечении в виде 3-х внутренних силовых факторов: продольной силы N_z и изгибающих моментов M_x, M_y . Такой подход позволяет произвести сравнение величины продольной силы, полученной методом тензометрии и вибрационным методом. На каждом этапе по длине стержня использовались четыре сечения, где определялись внутренние силовые факторы: 2 сечения в середине стержня и 2 сечения у опор. При этом для статических испытаний важно использовать сечения вблизи опор стержня. Поэтому положения сечений у опор стержня при смене этапа испытаний также изменялись. Схема размещения тензодатчиков представлена на рис. 5.

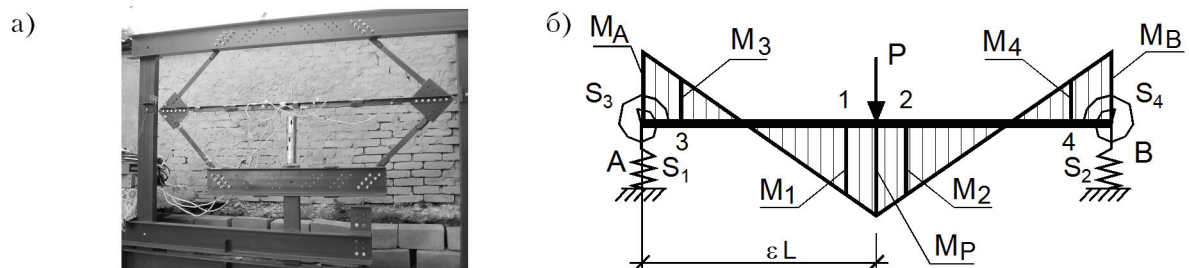


Рисунок 4. Нагружение рабочего стержня статической поперечной нагрузкой: а) общий вид; б) схема экспериментального построения эпюры моментов в стержне.

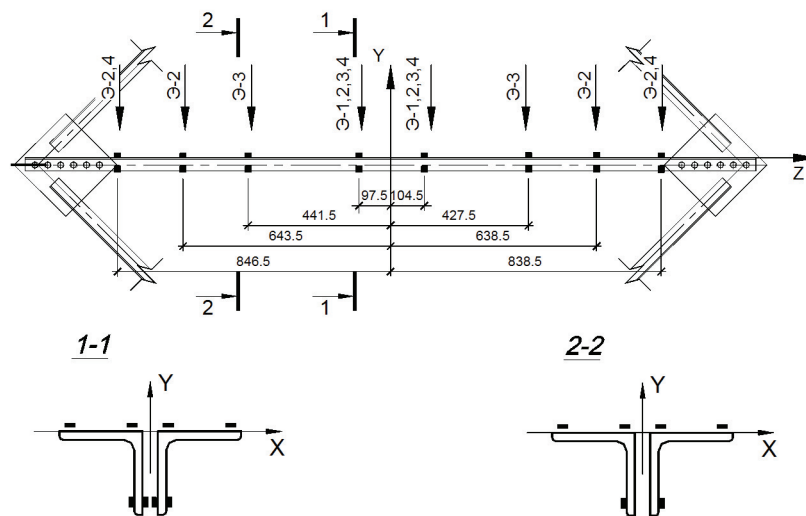


Рисунок 5. Схема размещения тензодатчиков на рабочем стержне.

Компоненты напряженного состояния в каждом сечении определялись для каждого профиля в отдельности путем решения системы уравнений:

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{N_z}{F} + \frac{M_x}{I_x} y_1 + \frac{M_y}{I_y} x_1 \\ \sigma_2 = \frac{N_z}{F} + \frac{M_x}{I_x} y_2 + \frac{M_y}{I_y} x_2, \\ \sigma_3 = \frac{N_z}{F} + \frac{M_x}{I_x} y_3 + \frac{M_y}{I_y} x_3 \end{cases} \quad (1)$$

где N_z, M_x, M_y – искомые силовые факторы; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – определенные нормальные напряжения в точках установки тензодатчиков; F, I_x, I_y – соответственно площадь и моменты инерции сечения относительно главных центральных осей, x_i, y_i – координаты середины датчика в системе главных центральных осей сечения.

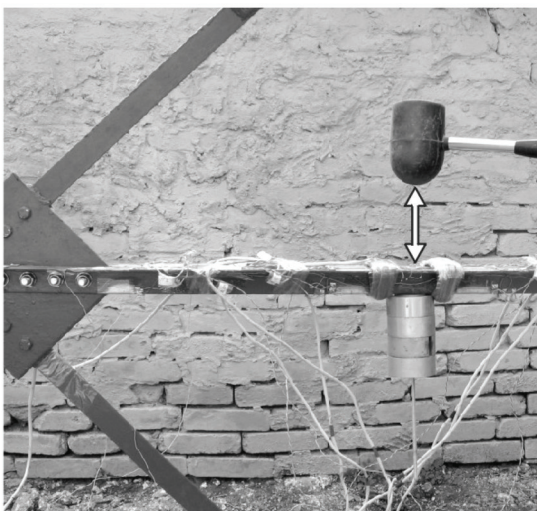
Вычисленные компоненты для двух профилей усреднялись с контролем «промахов» (резко отличающихся результатов) по критерию Кочрена [6, 8] и определением для изгибающих моментов среднеквадратичного отклонения S и коэффициента вариации ν . Для продольной силы среднее значение \bar{N} , стандарт S и коэффициент вариации ν определялись из 8-ми измерений (4 сечения по 2 профиля), также с контролем «промахов» по критерию Кочрена и определением

доверительного интервала по критерию Стьюдента с обеспеченностью 0,95. Таким образом, для каждого шага нагружения производился опрос тензодатчиков и в соответствии с полученными результатами определялись вероятностные оценки продольного усилия в элементе.

Помимо тензометрического метода определение действующего продольного усилия в стержне проводилось также вибрационным методом на основе способа вариации масс [15]. Возбуждение колебаний при вибрационных испытаниях осуществлялось ударным способом с помощью специального резинового молотка и регистрацией последующих собственных колебаний стержня (рис. 6). Экспериментально изучен фактор отклонения угла направления удара от расчетного положения, которое совпадает с главной центральной осью инерции стержня (рис. 6 б).

Регистрация колебаний осуществлялась с помощью пьезоэлектрического датчика с аналого-цифровым преобразованием при помощи звуковой платы ПК. Приборная систематическая ошибка регистрации колебаний невелика, и основной ошибкой измерений является случайная. С целью уменьшения случайной ошибки при записи одной виброграммы выполнялась серия ударов с последующими процессами собственных колебаний стержня. Так, с увеличением количества измерений уменьшается размах доверительного интервала t -критерия Стьюдента для

а)



б)

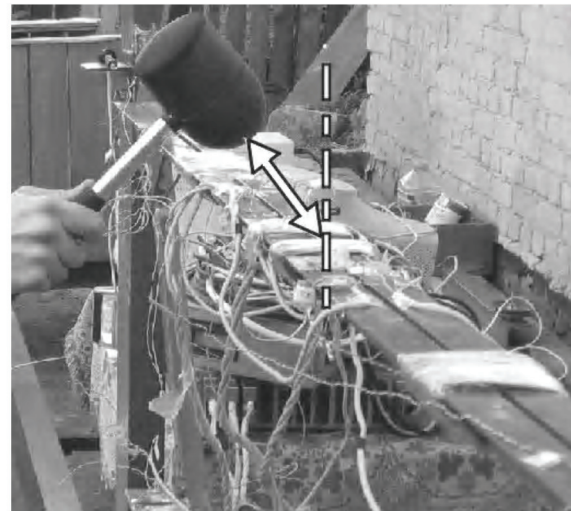


Рисунок 6. Возбуждение поперечных колебаний стержня с закрепленной сосредоточенной массой: а) в направлении главной центральной оси инерции поперечного сечения; б) под определенным углом между направлением удара и главной центральной осью инерции элемента.

частоты собственных колебаний $\Delta\omega = t_{\text{эм}}(S_{\omega}/\sqrt{n})$. При количестве измерений $n = 18 - \Delta\omega \approx 0,5S_{\omega}$. Таким образом, при количестве измерений не менее 18 вычисленная величина частоты может отличаться от истинного значения на величину половины полученного стандарта с обеспеченностью 0,95. По этим соображениям использовалось 20–25 ударов при записи одной виброграммы с промежутком, равным времени затухания процесса собственных колебаний при ударе.

Начальной стадией обработки вибросигнала является разделение виброграммы на отдельные колебания – процессы колебаний, вызванные однократным возмущением, и отбрасыванию у каждого колебания промежутка времени, связанного с непосредственным воздействием удара 0,1–0,3 сек (рис. 7).

Представленные на рис. 7 виброграммы являются графиками виброускорения с некоторой переменной амплитудой. Величина амплитуды для целей вибрационного метода не имеет значения, поэтому на приведенных виброграммах амплитуда указана в некоторых относительных единицах без указания размерности.

Дальнейший анализ виброграммы собственных колебаний может быть произведен путем представления процесса колебаний в виде ряда Фурье [1, 3, 5] (гармонического анализа). Такой подход позволяет производить анализ с любым

шагом частоты (шириной спектральной полосы). Точность определения частоты, обусловленная размахом доверительного интервала, должна быть не более 0,5 %, что учтено при расчетах погрешности вибрационного метода. Для этого ширина спектральной полосы при обработке сигнала принималась равной 0,01 Гц, что больше систематической ошибки аппаратуры, но в 3–5 раз меньше случайной ошибки измерений. Таким образом, из анализа серии ударов при одинаковых внешних условиях формировалась величина частоты собственных колебаний как математическое ожидание $\bar{\omega}$ частот, вычисленных для каждого удара в отдельности. Также определялись среднеквадратичное отклонение S_{ω} , коэффициент вариации v_{ω} и размах доверительного интервала по t -критерию Стьюдента значений $\bar{\omega}$ при обеспеченности $\alpha = 0,95$. По полученным величинам частот производился расчет продольного усилия и нормальных напряжений от фактора продольного усилия в элементе. Величина размаха доверительного интервала использовалась для оценки погрешности полученных нормальных напряжений. В результате испытаний анализировались расхождения средних значений и доверительных интервалов полученных усилий по двум методам – методу тензометрии и вибрационному методу на основе способа вариации масс (рис. 8).

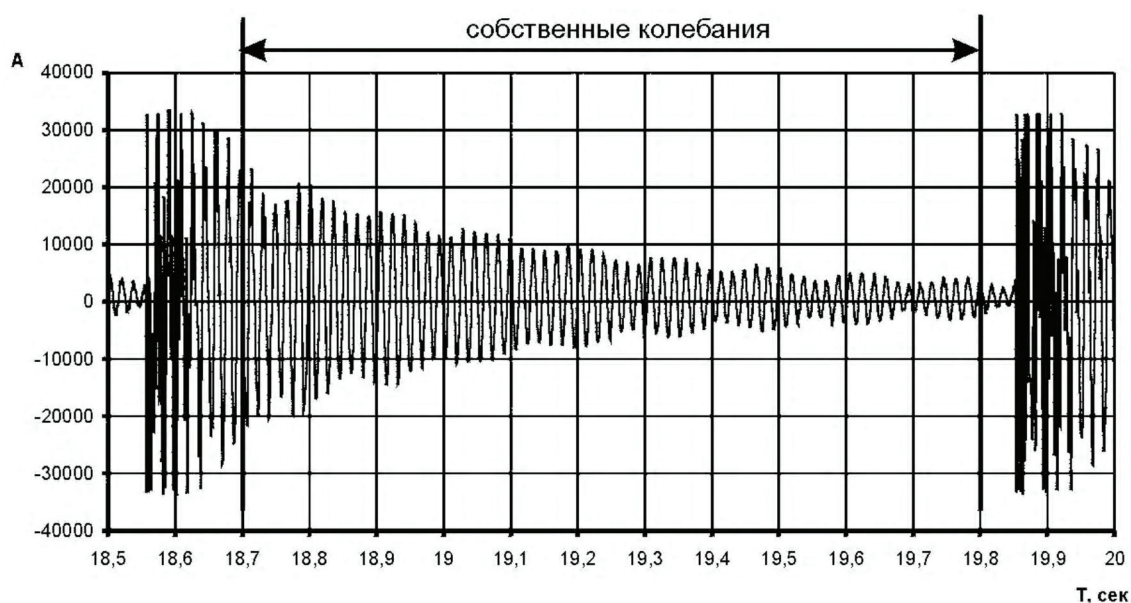


Рисунок 7. Виброграмма процесса колебаний, вызванного однократным возмущением.

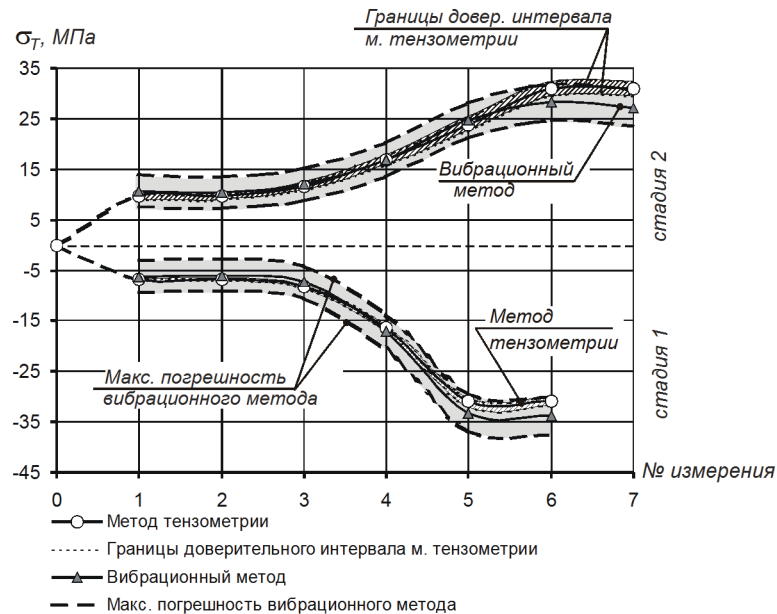


Рисунок 8. Графическая интерпретация полученных результатов по двум методам на этапе испытаний №1 (гибкость испытываемого элемента $l = 179,3$).

Выводы

Результаты экспериментальных исследований показали, что способ вариации масс может быть использован в практических целях для уточнения параметров динамической модели. Расчетные предположения о том, что величина коэффициента угловой жесткости опор, полученная на основе теоретического расчета, отличается от истинного значения не больше чем на 10 %, справедливы. Средняя величина расхождения продольных усилий, полученных по двум независимым методам, составляет 8,97 %, коэффициент

корреляции результатов по 52 независимым измерениям составил 0,97. При этом не выявлено ни одного измерения, при котором доверительные интервалы для двух методов не имели бы общих точек. Для обеспечения расчетной погрешности установленной частоты собственных колебаний стержня необходимо иметь выборку в 20–25 отдельных процессов собственных колебаний, возбужденных ударным способом при угле между главной центральной осью инерции поперечного сечения и направлением удара не более 15° .

Литература

1. Hunaidi, O. Measurement and analysis of traffic-induced vibrations / O. Hunaidi, J. H. Rainer, G. Pernica // Second International Symposium – Transport Noise and Vibration, St. Petersburg, Russia, October 4–6, 1994. – P. 103–108.
2. Linjama, J. Characterization of structural vibration: field descriptors based on energy density and intensity / J. Linjama. – Espoo: [s. n.], 1993. – 31 p.
3. Marpl, S. L. The digital spectral analysis and his applications / S. L. Marpl. – New York: McGraw-Hill, 1987. – 265 p.
4. Lewandowski, R. Dynamic analysis of structures with multiple tuned mass dampers / R. Lewandowski,

References

1. Hunaidi, O.; Rainer, J. H.; Pernica, G. Measurement and analysis of traffic-induced vibrations. *Second International Symposium – Transport Noise and Vibration*, St. Petersburg, Russia, October 4–6, 1994, p. 103–108.
2. Linjama, J. Characteristics of structural vibration: field descriptors based on energy density and intensity. Espoo, 1993. 31 p.
3. Marpl, S. L. The digital spectral analysis and its applications. New York: McGraw-Hill, 1987. 265 p.
4. Lewandowski, R.; Grzymisiawska, J. Dynamic analysis of structures with multiple tuned mass

- J. Grzymisiawska // *Journal of civil engineering and management*. – 2009. – Vol. 15(1). – P. 77–86.
5. Ways of antihunting rigid conductors structures of outdoor switchgears of the power supply network construction / Ye. V. Gorokhov, V. F. Mushchanov, V. V. Kulyabko [et al.] // *The 10th International Conference «Modern Building Materials, Structures and Techniques»*, Vilnius, 19–21 may, 2010. – P. 619–627.
 6. Вентцель, Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 384 с.
 7. Денисов, Е. В. Стенд для экспериментального изучения вибрационного метода / Е. В. Денисов // *Металеві конструкції*. – 2006. – Том 10, № 2. – С. 107–111.
 8. Корн, Г. Справочник по математике [для научных работников и инженеров] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1978. – 832 с.
 9. Обследование и испытание сооружений / О. В. Лужин, А. Б. Злочевский, И. А. Горбунов, В. А. Волохов. – М.: Стройиздат, 1987. – 263 с.
 10. Лурье, Ф. М. Об учете условий опирания стержней при динамическом расчете решетчатых металлических конструкций / Ф. М. Лурье // *Строительная механика и расчет сооружений*. – 1977. – № 5. – С. 64–67.
 11. Лурье, Ф. М. Определение усилий в стержнях вибрационным методом / Ф. М. Лурье, Г. Н. Григорьева // *Строительная механика и расчет сооружений*. – 1981. – № 3. – С. 71–73.
 12. Лурье, Ф. М. Применение вибрационного метода при обследовании металлических конструкций / Ф. М. Лурье, И. И. Файнберг. – Ленинград: ЛДНТП, 1975. – 26 с.
 13. Современные приборы, материалы и технологии диагностики и неразрушающего контроля промышленного оборудования. Элементарная база и комплектующие для приборов НК. Подготовка специалистов в сфере неразрушающего контроля и технической диагностики: [сб. науч. тр.]. – Харьков: ХТУРЭ, 1998. – 484 с.
 14. Файнберг, И. И. Вибрационный метод определения осевых усилий в элементах металлических конструкций с использованием дополнительных связей и нагрузок: автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук.: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / И. И. Файнберг. – Ленинград, 1978. – 20 с.
 15. Югов, А. М. Способ вариации масс для уточнения параметров динамической модели вибрационного метода / А. М. Югов, Е. В. Денисов // *Металеві конструкції*. – 2007. – Том 13, № 2. – С. 103–111.
 - dampers. *Journal of civil engineering and management*, 2009, Vol. 15(1), p. 77–86.
 5. Gorokhov, Ye. V.; Mushchanov, V. F.; Kulyabko, V. V. et al. Ways of antihunting rigid conductors structures of outdoor switchgears of the power supply network construction. *The 10th International Conference «Modern Building Materials, Structures and Techniques»*, Vilnius, 19–21 may, 2010, p. 619–627.
 6. Ventcel, E. S.; Ovcharov, L. A. Theory of occasional processes and its engineering applications. Moscow: Nauka, 1991. 384 p. (in Russian)
 7. Denisov, E. V. Stand for experimental study of vibrating method. *Metal Constructions*, 2006, Vol. 10, № 2, p. 107–111. (in Russian)
 8. Korn, G.; Korn, T. Mathematics enquiry [for scientific workers and engineers]. Moscow: Nauka, 1978. 832 p. (in Russian)
 9. Luzhin, O. V.; Zlochevskij, A. B.; Gorbunov, I. A.; Volohov, V. A. Constructions inspection and testing. Moscow: Stroyizdat, 1987. 263 p. (in Russian)
 10. Lure, F. M. Conditions of rod bearing at dynamic design of lattice frame metal structures. *Construction mechanics and building design*. 1977, № 5, p. 64–67. (in Russian)
 11. Lure, F. M.; Grigoreva, G. N. Effort determination in rods with vibration method. *Construction mechanics and building design*. 1981, № 3, p. 71–73. (in Russian)
 12. Lure, F. M.; Fajnberg, I. I. Vibration method use at metal structures inspecting. Leningrad: LDNTP, 1975. 26 p. (in Russian)
 13. Modern instruments, materials and diagnostics technology and non-damaging examination of industrial equipment. Elementary basis and elements for NK equipment. Specialists training in non-damaging examination and technical diagnostics. Harkov: HTURJe, 1998. 484 p. (in Russian)
 14. Fajnberg, I. I. Vibration method of axis effort determination in metal structures elements using additional ties and loads; thesis for Ph. D. grade: specialty 05.23.01. Structures, buildings and constructions. Leningrad, 1978. 20 p. (in Russian)
 15. Yugov, A. M.; Denisov Ye. V. Mass variation technique for specifying parameters of the vibration method of dynamic model. *Metal Constructions*, 2007, Vol. 13, № 2, p. 103–111. (in Russian)

Денисов Євген Валерійович – асистент кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: динаміка стержньових конструкцій, технічна діагностика будівельних конструкцій.

Денисов Евгений Валериевич – ассистент кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: динамика стержневых конструкций, техническая диагностика строительных конструкций.

Denisov Evgeniy – an Assistant of the department «Theoretical and applied mechanics» of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: dynamics of rod structures, technical diagnostics of building structures.