

**ОЦЕНКА ЖЕСТКОСТИ БАЛОК
ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ
ЗДАНИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ВИБРАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**

**STIFFNESS EVALUATION OF THE BEAMS
DURING THE INSPECTION
OF THE TEXTILE INDUSTRY BUILDINGS
BY VIBRATION METHODS**

*В.И. КОРОБКО, М.О. КАЛАШНИКОВ, А.С. БУХТИЯРОВА
V.I. KOROBKO, M.O. KALASHNIKOV, A.S. BUKHTIYAROVA*

**(Приокский государственный университет,
Юго-Западный государственный университет)
(Oka State University, South-West State University)
E-mail: vikor10@mail.ru**

В статье предлагается при регулярном обследовании зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения для оценки жесткости упругих конструкций балочного типа использовать вибрационные методы диагностики и контроля, а в качестве динамического критерия – коэффициент нелинейных искажений и коэффициент амплитудной модуляции. Проведенные исследования показали, что эти динамические параметры более чувствительны к дефектам, чем основная частота колебаний. Применение в указанных целях вибрационных методов существенно сокращает трудоемкость обследования.

The article suggests regular inspection of buildings and structures for industrial and civil use to evaluate the stiffness of the elastic structures of beam type to use vibration methods of diagnostics and control, and as a dynamic criterion – coefficient of nonlinear distortion and the amplitude modulation coefficient. Studies have shown that these dynamic parameters are more sensitive to defects than the basic frequency of oscillations. The use for these purposes a vibration methods significantly reduces the complexity of the survey.

Ключевые слова: обследование зданий и сооружений, определение жесткости балок, вибрационные методы, динамические критерии.

Keywords: inspection of buildings and structures, the definition of gesture-bone beams, vibration methods, dynamic criteria.

Согласно требованиям нормативных документов все промышленные здания и сооружения независимо от форм собственности подлежат систематическому обследованию с целью обнаружения дефектов, накопившихся в процессе эксплуатации, и оценки влияния этих дефектов на прочность, жесткость и устойчивость как отдельных элементов строительных конструкций, так и зданий и сооружений в целом. На многих предприятиях текстильной промышленности существуют агрессивные среды, которые интенсифицируют процессы накопления дефектов в строительных конструкциях, сокращая срок безопасной эксплуатации зданий и сооружений. Такие объекты, как правило, поднадзорны Ростехнадзору РФ – Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору.

На каждом предприятии существуют свои ведомственные нормативы по проведению обследования зданий и сооружений. В основу этих нормативов положены неразрушающие методы оценки контролируемых параметров строительных конструкций, включая и методы статического испытания конструкций при оценке их жесткости и трещиностойкости (железобетонных конструкций) [1], [3]. Испытания строительных конструкций методом статического нагружения [1] очень трудоемки, при их проведении зачастую приходится останавливать технологический процесс или существенно ограничивать его.

Одним из перспективных методов оценки жесткости строительных конструкций является вибрационный метод, основанный на анализе изменения динамических характеристик конструкций в процессе накопления в них видимых и скрытых дефектов [4], [6]. Этот метод менее трудоемок, не требует ограничения или остановки технологического процесса.

Широко известен вибрационный метод, с помощью которого осуществляется оценка жесткости балочных конструкций, работающих в упругой стадии, по основной частоте колебаний [4]. При его использовании целесообразно создавать динамический "портрет" здания с момента

ввода его в эксплуатацию, замеряя основную частоту колебаний каждой конструкции в ненагруженном (или нагруженном) состоянии, и периодически следить за изменениями этого динамического параметра. Недостаток этого метода заключается в том, что основная частота колебаний конструкций при накоплении дефектов имеет малый диапазон изменения, вплоть до опасного состояния конструкций. Поэтому целесообразно рассмотреть другие динамические характеристики конструкций, более чувствительные к накоплению дефектов.

Коэффициент нелинейных искажений $K_{ни}$ определяется по спектральному составу колебательной системы по формуле [7]:

$$K_{ни} = 100\% \sqrt{(A_2^2 + A_3^2 + \dots) / (A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + \dots)}, \quad (1)$$

где A_1 – амплитуда колебаний основного тона, A_2, A_3, \dots – амплитуды колебаний последующих гармоник. Анализ спектрального состава колебаний (определение величин A_1, A_2, A_3, \dots) можно осуществить с помощью специализированного прибора – анализатора спектра СК4-56. Этот параметр характеризует интегральную нелинейность колебательной системы и численно отражает распределение энергии колебаний по их спектру между основным тоном и его гармониками. Для систем, обладающих невысокой степенью нелинейности ($K_{ни} \leq 10\%$), вкладом гармоник выше четвертой в общий спектр колебаний можно пренебречь ввиду малости их амплитуд. В этом случае [7]:

$$K_{ни} \approx 100\% \sqrt{\frac{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2}{A_1^2}}. \quad (2)$$

Предварительно напряженные железобетонные конструкции обладают невысокой степенью нелинейности, поэтому для их исследования можно использовать формулу (2). Сопоставление коэффициентов нелинейных искажений контролируемой и эталонной конструкций позволяет выявить степень влияния дефектов на из-

менение $K_{ни}$ и тем самым оценить уровень дефектности контролируемой конструкции.

Для апробации метода на больших размерах моделей с использованием $K_{ни}$ был изготовлен стенд, функциональная схема которого при возбуждении в них поперечных колебаний представлена на рис. 1 (функциональная схема экспериментальной установки для определения коэффициента $K_{ни}$ с использованием поперечных колебаний: 1 – контролируемое изделие; 2 – излучатель механических колебаний; 3 – приемник механических колебаний; 4 – генератор синусоидальных колебаний; 5 – усилитель мощности; 6 – частотомер; 7 – цифровой вольтамперметр; 8 – предварительный усилитель; 9 – анализатор спектра; 10 – электронный осциллограф).

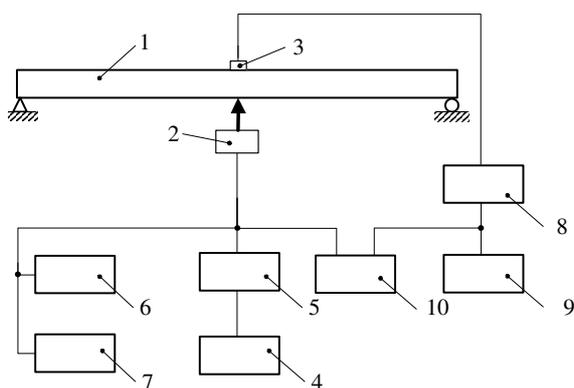


Рис. 1

При возбуждении продольных колебаний функциональная схема будет аналогичной с той лишь разницей, что вибровозбудитель и приемник колебаний будут устанавливаться на торцах конструкции.

Возбуждая колебания конструкции на основной частоте при одном и том же уровне энергии, определяют по частотному спектру резонансных колебаний величину коэффициента $K_{ни}$, используя формулу (2).

Для проведения испытаний была взята железобетонная перемычка типа 8ПБ-13-1 серийного изготовления, выполненная при тщательном контроле всех технологиче-

ских операций и принятая за эталон. Проведя исследование выбранной за эталон конструкции при возбуждении поперечных колебаний, были получены следующие результаты: при уровне вводимой энергии $W = 0,12$ Вт $K_{ни} = 4,23\%$.

Далее перемычка была нагружена по схеме шарнирно опертой балки статической равномерно распределенной нагрузкой $q = 2,25$ кН/м, при которой появились трещины в ее нижней зоне в середине пролета. После разгрузки эта перемычка была использована в качестве дефектной. Проведя исследование дефектной конструкции, был получен следующий результат: при $W = 0,12$ Вт $K_{ни} = 12,14\%$. Сопоставляя его с результатом испытаний эталонной балки, убеждаемся в том, что коэффициент нелинейных искажений для эталонной балки в три раза ниже. Это хороший показатель, характеризующий высокую чувствительность $K_{ни}$ к дефектам.

Аналогичные результаты были получены при использовании вибровозбудителя и приемника продольных колебаний.

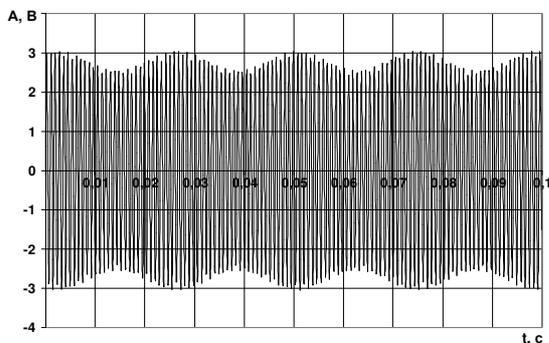
Нами были проведены также испытания составных деревянных конструкций с использованием этого способа [8]. Результаты этих испытаний показали, что коэффициент нелинейных искажений может быть применен для определения коэффициента жесткости горизонтального шва в двухслойных составных балках.

Коэффициент амплитудной модуляции K_{AM} определяется по формуле [7]:

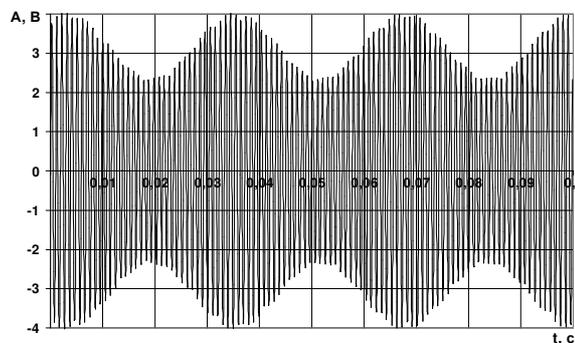
$$K_{AM} = (A_{\max} - A_{\min}) / (A_{\max} + A_{\min}), \quad (3)$$

где A_{\max} , A_{\min} – соответственно максимальная и минимальная амплитуды модулированного сигнала. При использовании низкочастотных поперечных колебаний как фактора нагружения контролируемой конструкции в последней возникает эффект модуляции высокочастотных продольных колебаний. При воздействии поперечных колебаний происходит периодическое изменение акустического импеданса материала конструкции, что сказывается на изменении амплитуды продольных колебаний. В наибольшей степени эти из-

менения происходят в зонах расположения дефектов, поглощающих и рассеивающих энергию продольных колебаний. У качественных конструкций уровень поглощения энергии будет ниже, чем у дефектных и поэтому изменение амплитуды продольных колебаний будет меньшим.



а)



б)

Рис. 2

Как и в предыдущем случае, дефектная конструкция была получена из эталонной путем нагружения ее поперечной равномерно распределенной нагрузкой $q = 2,25$ кН/м до появления волосяных трещин в нижней зоне в средней части перемычки и с последующим снятием этой нагрузки. Как свидетельствуют приведенные на рис. 2 виброграммы, амплитуда модулированного сигнала у дефектной конструкции оказалась больше, чем у добротной почти на 30%. Это намного выше, чем при использовании в качестве критерия жесткости основной частоты колебаний.

При использовании рассмотренного способа модуляции продольных колебаний уровень вводимой энергии изгибных колебаний $W_{и}$ существенной роли не играет, и поэтому его можно выбирать самым минимальным (в нашем случае вполне достаточным оказался $W_{и} = 0,05$ Вт).

ВЫВОДЫ

1. Предложенные вибрационные способы диагностики строительных конструкций значительно расширяют его возможности. Наряду с уже известными способами, основанными на применении основной

частоты колебаний, эти способы существенно расширяют информацию о состоянии конструкции и позволяют получить более достоверные оценки контролируемых параметров напряженно-деформированного состояния конструкций.

2. По данным, приведенным в настоящей статье, можно сделать вывод о том, что точность получаемых оценок с помощью предложенных способов выше, чем в способах с использованием основной частоты колебаний, поскольку диапазон изменения контролируемых параметров в нашем случае будет значительно шире.

3. Для реализации обоих способов можно использовать широко распространенные приборы, выпускаемые отечественной приборостроительной промышленностью.

4. Способ, основанный на использовании коэффициента нелинейных искажений, проще, чем способ, основанный на использовании коэффициента амплитудной модуляции, так как в первом случае достаточно в контролируемой конструкции возбудить один вид колебаний – поперечных (изгибных) или продольных. Однако способ, основанный на использовании коэффициента амплитудной модуляции, может оказаться более информатив-

ным, поскольку использует два вида деформирования конструкции при изгибных и продольных колебаниях.

5. Описанные в статье вибрационные способы контроля жесткости балочных конструкций могут быть внедрены в эксплуатационных службах зданий и сооружений предприятий текстильной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 8829–94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытания нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. – М.: Изд-во стандартов, 1985.

2. ГОСТ 17624–78. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. – М.: Изд-во стандартов, 1978.

3. *Грешников В.А.* Акустическая эмиссия: Применение для испытаний материалов и изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1976.

4. *Коробко В.И., Коробко А.В.* Контроль качества строительных конструкций: Виброакустические технологии. – М.: Изд-во АСВ, 2003.

5. *Коробко В.И., Слюсарев Г.В., Калашников М.О., Бояркина О.В.* Оценка качества железобетонных конструкций балочного типа вибрационным методом с использованием коэффициента амплитудной модуляции // *Контроль. Диагностика.* – 2005, №6. С. 54...58.

6. *Коробко В.И., Слюсарев Г.В., Калашников М.О., Бояркина О.В.* Оценка качества железобетонных конструкций балочного типа вибрационным методом с использованием коэффициента нелинейных искажений // *Контроль. Диагностика.* – 2005, №6. С. 54...58.

7. *Шкритек П.* Справочное руководство по звуковой схемотехнике / Пер. с немецкого. – М.: Мир, 1991.

8. *Калашников М.О.* Диагностика и контроль качества строительных конструкций вибрационными методами: Дис...канд. техн. наук. – Орел, 2011.

REFERENCES

1. GOST 8829–94. Izdelija stroitel'nye zhelezobetonnye i betonnye zavodskogo izgotovlenija. Metody ispytaniya nagruzeniem. Pravila ocenki prochnosti, zhestkosti i treshhinostojkosti. – M.: Izd-vo standartov, 1985.

2. GOST 17624–78. Betony. Ul'trazvukovoj metod opredelenija prochnosti. – M.: Izd-vo standartov, 1978.

3. Greshnikov V.A. Akusticheskaja jemissija: Primenenie dlja ispytaniy materialov i izdelij. – M.: Izd-vo standartov, 1976.

4. Korobko V.I., Korobko A.V. Kontrol' kachestva stroitel'nyh konstrukcij: Vibroakusticheskie tehnologii. – M.: Izd-vo ASV, 2003.

5. Korobko V.I., Sljusarev G.V., Kalashnikov M.O., Bojarkina O.V. Ocenka kachestva zhelezobetonnyh konstrukcij balochnogo tipa vibracionnym metodom s ispol'zovaniem koeficienta amplitudnoj moduljacii // *Kontrol'. Diagnostika.* – 2005, №6. S.54...58.

6. Korobko V.I., Sljusarev G.V., Kalashnikov M.O., Bojarkina O.V. Ocenka kachestva zhelezobetonnyh konstrukcij balochnogo tipa vibracionnym metodom s ispol'zovaniem koeficienta nelinejnyh iskazhenij // *Kontrol'. Diagnostika.* – 2005, №6. S.54...58.

7. Shkritek P. Spravochnoe rukovodstvo po zvukovoj shemotekhnike / Per. s nemeckogo. – M.: Mir, 1991.

8. Kalashnikov M.O. Diagnostika i kontrol' kachestva stroitel'nyh konstrukcij vibracionnymi metodami: Dis...kand. tehn. nauk. – Orel, 2011.

Рекомендована кафедрой уникальных зданий и сооружений ЮЗГУ. Поступила 08.04.16.