



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

№2, ТОМ 13 (2007) 103-111

УДК 624.014.042

(07)-0136-1

## **СПОСІБ ВАРІАЦІЇ МАС ДЛЯ УТОЧНЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ВІБРАЦІЙНОГО МЕТОДУ**

**А.М. Югов, Є.В. Денисов**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,*

*вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.*

*E-mail: denissovet@ukr.net*

*Отримана 6 квітня 2007; прийнята 20 квітня 2007*

**Анотація.** Визначення напруженого стану конструкцій, що перебувають у процесі експлуатації, найчастіше є досить складною багатofакторною задачею. Одним з методів, які дозволяють вирішити цю задачу для фермових конструкцій, є вібраційний метод. В основі вібраційного методу лежить залежність частоти власних поперечних коливань стержня фермової конструкції від поздовжнього зусилля в ньому. Основним питанням застосування вібраційного методу є визначення параметрів прийнятої динамічної моделі - ефективної довжини стержня і коефіцієнтів пружного закріплення граничних точок. Для визначення цих параметрів в 70-х роках минулого сторіччя вченими ЦНІПБК були розроблені способи додаткового навантаження і додаткових зв'язків. Однак через складність їхнього натурного застосування ці способи не одержали широкого поширення. У даній статті приводяться основні теоретичні положення ще одного способу уточнення параметрів динамічної моделі вібраційного методу - способу варіації мас. Запропонований спосіб варіації є найбільш простим у плані практичного застосування та забезпечує достатню точність вібраційного методу.

**Ключові слова:** вібраційний метод, динамічна модель, спосіб варіації мас.

## **СПОСОБ ВАРИАЦИИ МАСС ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВИБРАЦИОННОГО МЕТОДА**

**А.М. Югов, Е.В. Денисов**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,*

*ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.*

*E-mail: denissovet@ukr.net*

*Получена 6 апреля 2007; принята 20 апреля 2007*

**Аннотация.** Определение напряженного состояния конструкций, находящихся в процессе эксплуатации, зачастую является достаточно сложной многофакторной задачей. Одним из методов, позволяющих решить эту задачу для ферменных конструкций, является вибрационный метод. В основе вибрационного метода лежит зависимость частоты собственных поперечных колебаний стержня ферменной конструкции от продольного усилия в нем. Основным вопросом применения вибрационного метода является определение параметров принятой динамической модели - эффективной длины стержня и коэффициентов упругого закрепления граничных точек. Для определения этих параметров в 70-х годах прошлого столетия учеными ЦНИИПСК были разработаны способы дополнительной нагрузки и дополнительных связей. Однако по причине сложности их натурного применения эти способы не получили широкого распространения. В данной статье приводятся основные теоретические положения еще одного из способов уточнения параметров динамической модели вибрационного

метода - способа вариации масс. Предложенный способ вариации масс является наиболее простым в плане практического применения и обеспечивает достаточную точность вибрационного метода.

**Ключевые слова:** вибрационный метод, динамическая модель, способ вариации масс.

## MASS VARIATION TECHNIQUE FOR SPECIFYING PARAMETERS OF THE VIBRATION METHOD DYNAMIC MODEL

A.M. Yugov, Ye.V. Denisov

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,*

*Derzavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.*

*E-mail: denissoev@ukr.net*

*Received 6 April 2007; accepted 20 April 2007*

**Abstract.** It is often quite a multifactor task to determine a stressed state of structures under operation. One of the methods that allows solving this task for frame structures is the vibration method based on the dependence of natural lateral vibration frequency of a frame structure rod on a longitudinal force in it. The main idea of applying the vibration method is to determine the parameters of the accepted dynamic model - an effective rod length and the coefficients of elastic fastening of boundary points. For determining these parameters a technique of an additional loading and additional bonds were developed by the scientists of the Central Research Institute of Building structures in the 70-s of the last century. But these methods were not widely used because of the complexity of their in-situ application. The paper presents the basic theoretical principles of another technique for specifying parameters of the vibration method dynamic model, that is the mass variation method. That is the simplest method in terms of its practical application and it provides a sufficient accuracy of the vibration method.

**Keywords:** a vibration method, a dynamic model, a mass variation method.

### Введение

На сегодняшний день накоплен значительный практический и научно-методический опыт оценки технического состояния строительных конструкций [2, 3, 8, 16]. Тем не менее, задача оценки НДС (напряженно-деформированного состояния) конструкций, находящихся в процессе эксплуатации, является достаточно сложной. Причиной этому служит влияние множества факторов: наличие дефектов и повреждений конструкции, полнота информации о несовершенствах и нагрузках, наличие информации об истории нагружения конструкции и пр. Учет в инженерных расчетных схемах несовершенств часто приводит к необходимости моделирования нелинейных процессов деформации системы, в связи с чем трудоемкость подобных расчетов возрастает [5]. Таким образом, чрезвычайно актуальным является вопрос об адекватности подобной расчетной схемы с реальным сооружением.

Оценка НДС эксплуатируемых конструкций экспериментальными методами не получила на сегодняшний широкий распространения. Первопричиной этого является сложность практического исполнения. Применение широко распространенных методов контроля приращений деформаций – тензометрии, фотометрии и др., как правило, в натуральных условиях затруднительно, поскольку требует дополнительных нагрузок на конструкции. 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 является вибрационный метод. Само понятие “вибрационный метод” подразумевает анализ динамических характеристик исследуемого объекта при возбуждении его колебаний. На сегодняшний день вибрационный метод получил

широкое применение в машиностроении и областях сопряженных с ним [1, 4, 6, 7]. В строительной области благодаря исследованиям Крылова Н.А., Пикулева Н.А., Сперанского - Б.А., Судакова В.В. и др. вибрационный метод получил распространение для определения усилий в арматурных стержнях, тросовых затяжках, канатах и т.п.

Для определения усилий в элементах ферменных конструкций вибрационный метод был создан в 70-х годах прошлого века учеными ЦНИИПСК, среди которых следует отметить Файнберга И.И., Лурье Ф.М., Трулля В.А. и др. [10-12, 14]. 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 [14]. Для уточнения параметров динамической модели были предложены два способа [12, 14]. 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 приращения частоты собственных колебаний. Однако, и процесс создания подобной добавки усилия в натуральных условиях, и процесс экспериментального контроля ее величины является достаточно сложными. Второй способ – спо-

соб 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. Поэтому актуальным является вопрос создания такого способа уточнения параметров динамической модели вибрационного метода, который был бы пригодным для применения в натуральных условиях.

### Сущность способа вариации масс

Расчетной динамической моделью вибрационного метода является весомый призматический стержень на упругих опорах, имеющий некоторое продольное усилие, равномерно распределенную массу и сосредоточенную массу в произвольной точке (рис. 1).

При этом коэффициенты линейной  $c_{лин}$  и угловой  $c_{угл}$  жесткости опор стержня удобно рассматривать в безразмерных параметрах соответственно  $S_{лин}$  и  $S_{угл}$ :

$$S_{лин} = \frac{c_{лин} \cdot L^3}{EI}, \quad S_{угл} = \frac{c_{угл} \cdot L}{EI}.$$

Проведенные исследования [9, 14] показали, что влияние погрешности величины коэффициентов линейной жесткости опор стержня  $S_{лин}$  ( $S_1, S_2$  на рис. 1), определенных теоретическим путем методами строительной механики, на конечный результат усилий в стержне, полученных вибрационным методом, невелико. Поэтому, наиболее важной задачей является получение значений эффективной длины

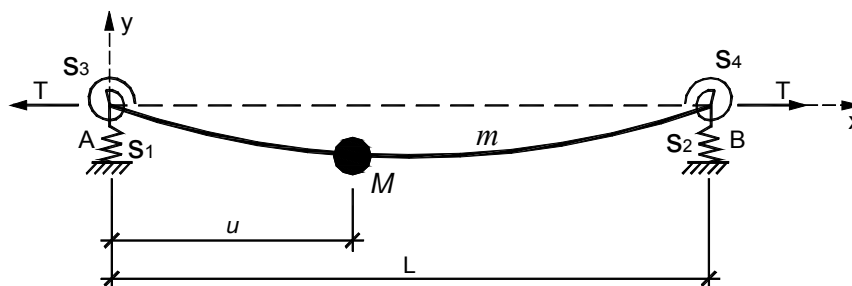


Рис. 1. Расчетная динамическая модель вибрационного метода.

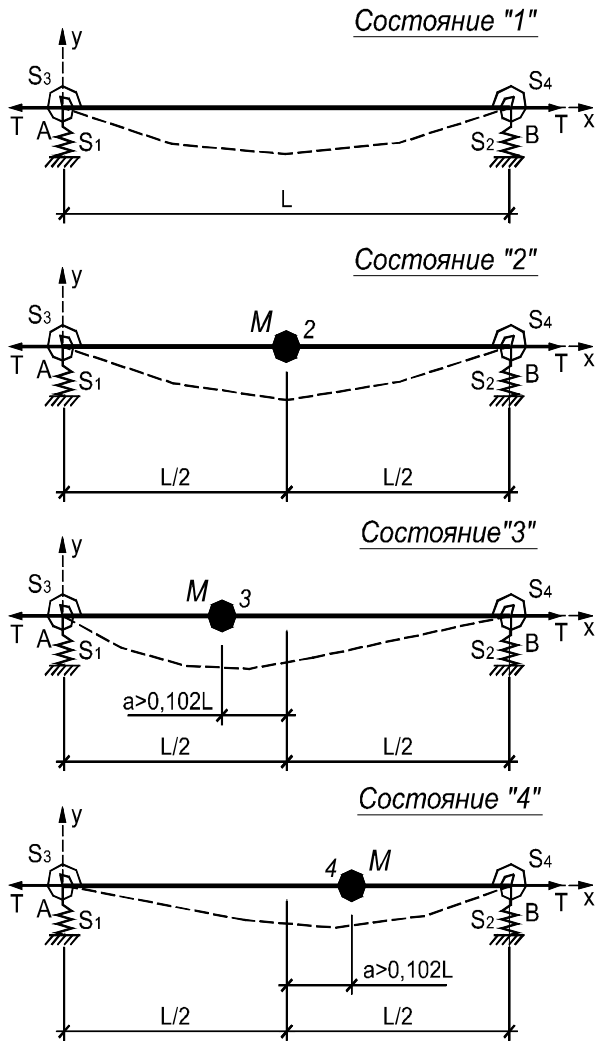


Рис. 2. Расчетные состояния в соответствии со способом вариации масс.

стержня  $L$  и коэффициентов угловой жесткости опор стержня  $S_{y_{zL}}$  ( $S_3, S_4$  на рис. 1) таким образом, чтобы частота основного тона поперечных колебаний стержня расчетной динамической модели соответствовала частоте поперечных колебаний этого стержня в составе конструкции. Использование методов строительной механики в данном случае малоэффективно [9-14], поскольку погрешности определения этих параметров, полученные за счет идеализации расчетной схемы и определенных допущений, вносят существенную ошибку в результат вибрационного метода.

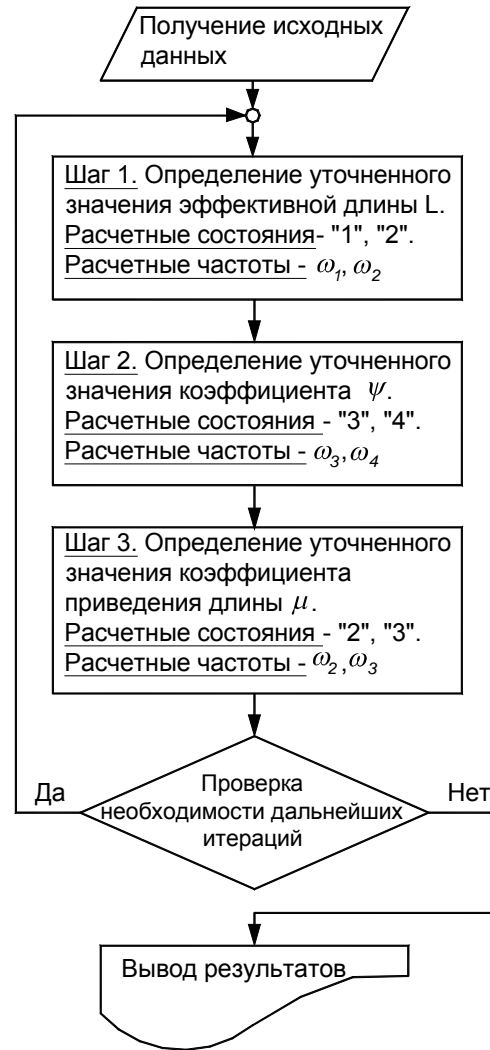
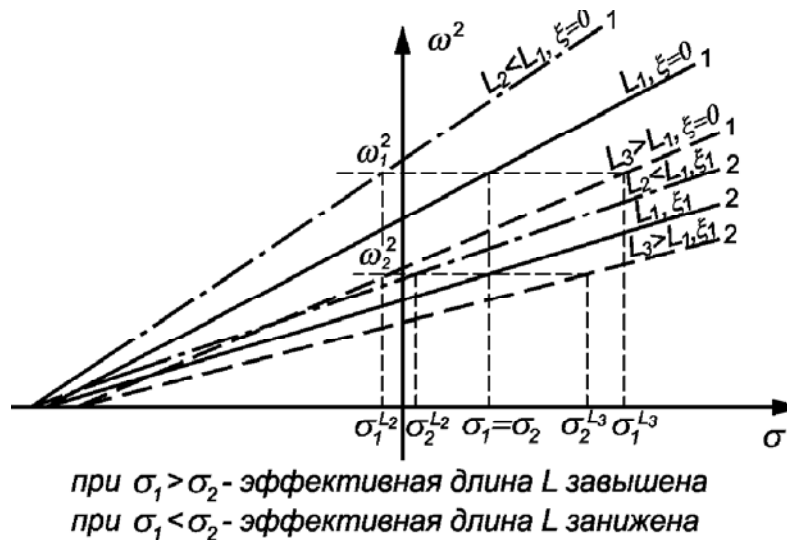


Рис. 3. Алгоритм поиска решений в соответствии со способом вариации масс.

Для уточнения значений эффективной длины стержня  $L$  и коэффициентов угловой жесткости опор стержня  $S_{y_{zL}}$  может быть использован способ вариации масс, сущность которого заключается в определении частот собственных поперечных колебаний стержня в 4-х состояниях, в которых изменяется величина и положение сосредоточенной массы на стержне (рис. 2). Способ является итерационным и состоит из 3-х отдельных независимых шагов (рис. 3).

Первый шаг используется для определения эффективной длины  $L$  в предположении, что



**Рис. 4.** Принципиальный способ поиска решения на основе анализа зависимостей квадрата частот собственных колебаний  $\omega^2$  от нормальных напряжений в стержне  $s$  для двух расчетных состояний.

коэффициенты угловой жесткости опор  $S_3$  и  $S_4$  известны, а коэффициенты линейной жесткости  $S_1$  и  $S_2$  больше 500 (что удовлетворяет условиям закрепления подавляющего большинства стержней ферменных конструкций). В этих условиях влияние жесткости линейных связей на величину производной квадрата частоты собственных поперечных колебаний по нормальным напряжениям в стержне  $\partial(\omega^2)/\partial\sigma$  ничтожно. Тогда, рассматривая состояния "1" и "2" соответственно стержня без массы и с массой в середине, отмечается, что отношение частот собственных поперечных колебаний стержня в этих состояниях является функцией безразмерного аргумента  $x$ , равного отношению сосредоточенной массы на стержне к массе самого стержня ( $\xi = M/mL$ ). Параметр  $x$  в свою очередь является функцией эффективной длины  $L$ . Таким образом,  $\omega_1/\omega_2 = f(\xi) = f(L)$ . При этом нетрудно показать, что при увеличении длины стержня функция соотношения частот  $\omega_1/\omega_2$  монотонно убывает, асимптотически приближаясь к единице. Таким образом, для данного соотношения частот существует единственное значение эффективной длины стержня.

Практически определение значения эффективной длины на данном шаге может быть проиллюстрировано при помощи графика зависи-

мости  $\sigma = f(\omega^2)$ , которую в первом приближении можно трактовать как линейную (рис. 4). Используется следующий подход: при данном значении длины  $L$  и расчетных частотах  $\omega_1$  и  $\omega_2$  определяют величины напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  для соответствующих состояний стержня "1" и "2". В случае  $\sigma_1 < \sigma_2$  (случай  $L_2 < L_1$  по рис. 4) эффективная длина занижена, а коэффициент  $\xi$  соответственно завышен. В случае  $\sigma_1 > \sigma_2$  (случай  $L_3 > L_1$  по рис. 4) эффективная длина завышена, а коэффициент  $\xi$  соответственно занижен. Таким образом, применяя итерационный алгоритм, получим искомое значение эффективной длины.

Второй шаг используется для уточнения соотношения коэффициентов угловой жесткости опор стержня  $\psi = S_3/S_4$  при известной эффективной длине стержня  $L$  и коэффициенте приведенной длины  $\mu$ . Коэффициент приведения длины  $\mu$  в этом случае выступает в виде некоторой вспомогательной характеристики угловой жесткости обеих опор стержня и определяется на основании приведенных в нормах зависимостей [17]:

$$\mu = 0.5 \sqrt{\frac{(S_3 + 4.8) \cdot (S_4 + 4.8)}{(S_3 + 2.4) \cdot (S_4 + 2.4)}}$$

Функция квадрата собственных чисел  $\lambda_0^2$  от относительной координаты расположения сосредоточенной массы на стержне  $U$  имеет форму аналогичную форме кривой потери устойчивости стержня (рис. 5). (Собственные числа  $\lambda_0$  – безразмерные параметры, полученные из решения частотного уравнения поперечных колебаний стержня [15]. При отсутствии продольного усилия в стержне спектр частот собственных поперечных колебаний весомого стержня связан со спектром собственных чисел

зависимостью  $\omega = (\lambda_0^2/L^2)\sqrt{EI/m}$ , где  $EI$ ,  $L$  и  $m$  – изгибная жесткость, длина и погонная масса стержня соответственно.) Смещение экстремума функции  $\lambda_0^2 = f(U)$  от середины происходит в направлении наименее жесткой опоры, и максимальная величина смещения составляет  $0,102L$  (при коэффициенте приведения длины  $\mu=0,7$ ).

Рассматриваются расчетные состояния “3” и “4” с соответствующим закреплением масс на некотором одинаковом расстоянии  $a > 0,102L$  от

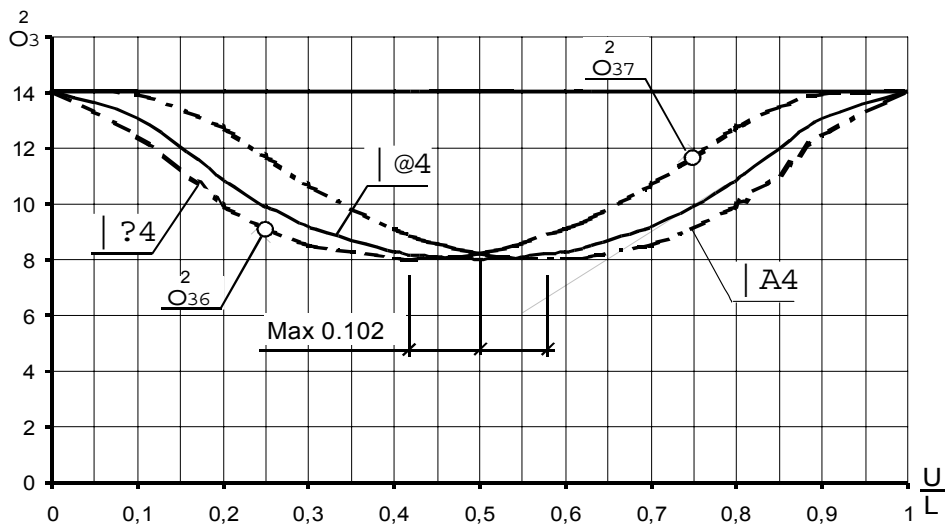


Рис. 5. Зависимость квадрата собственных чисел от относительной координаты расположения массы на стержне при различных соотношениях коэффициентов угловой жесткости опор стержня.

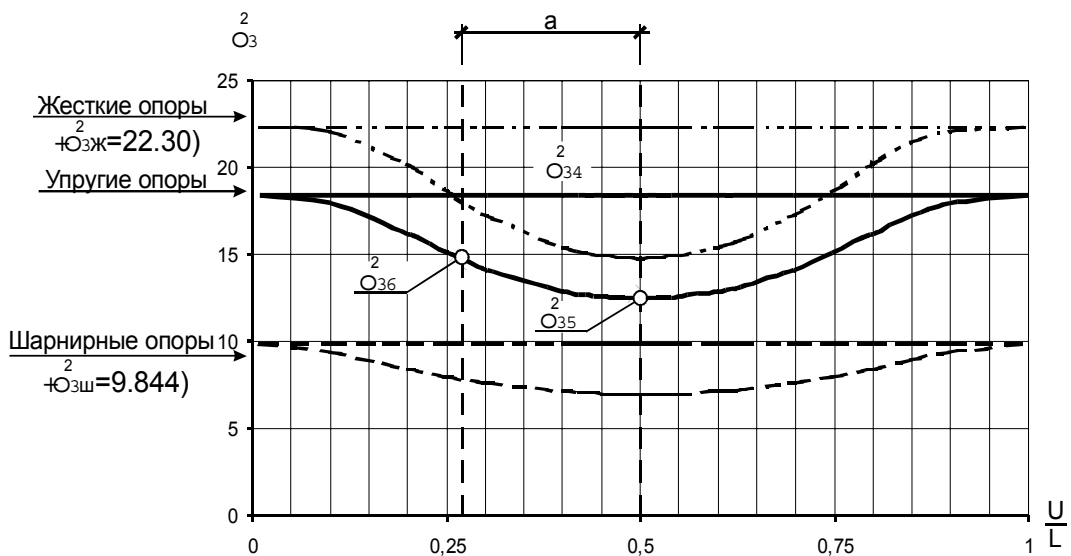


Рис. 6. Зависимость квадрата собственных чисел от относительной координаты расположения массы на стержне при различных значениях коэффициентов угловой жесткости опор стержня.

середины. В этом случае нетрудно показать, что функция  $\omega_3/\omega_4 = \lambda_{03}^2/\lambda_{04}^2 = f(\psi)$  является монотонно возрастающей, что означает единственность значения коэффициента  $\psi$  для данного соотношения частот. Поиск значения коэффициента  $\psi$  может быть выполнен аналогично шагу 1 на основе анализа зависимости  $\sigma = f(\omega^2)$  для данных расчетных состояний.

Третий шаг используется для уточнения коэффициента приведения длины  $m$  при известной эффективной длине  $L$  и соотношении коэффициентов угловой жесткости  $\psi$ . Известно [15], что собственные числа  $\lambda_0$  являются функцией жесткости опорных закреплений при неизменных других параметрах. Так, для стержня без дополнительной сосредоточенной массы с шарнирным закреплением концов  $\lambda_{0ш} = \pi = 3.14$ , с жестким закреплением —  $\lambda_{0ж} = 4.23$ . Также с увеличением угловой жесткости опор разность квадратов собственных чисел стержня без массы и с массой в любой точке также увеличивается (рис.6). На этом принципе основан шаг №3. Рассматриваются состояния “2” и “3” с соответствующим закреплением массы в середине и на некотором расстоянии от середины, для которых существует монотонная функция  $\omega_2/\omega_3 = \lambda_{02}^2/\lambda_{03}^2 = f(\mu)$ . Величина коэффициента  $\mu$  определяется по соотношению частот  $\omega_2/\omega_3$  на основе анализа зависимости  $\sigma = f(\omega^2)$  для данных расчетных состояний.

Весь процесс поиска решения объединяется в единый итерационный алгоритм (рис. 3). Условие завершения итерационного процесса при этом имеет вид  $f_\sigma = |\sigma_1 - \sigma_2| \leq \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  - предел точности, который рекомендуется принимать в пределах  $\varepsilon \in [0.01, 0.1]$  МПа. Несмотря на то, что единственность решения на каждом шаге тела итерационного алгоритма доказана, сходимость общего итерационного процесса зависит от множества факторов. Поэтому к условию завершения итерационного процесса также необходимо отнести условие сходимости, которое выражается в убывании функции  $f_\sigma^i = |\sigma_1^i - \sigma_2^i|$  при возрастании порядкового номера итерации  $i$ . (Необходимо отметить, что исследования сходимости итерационного алгоритма, проведенные в работе [9], показали, что процесс расходится при достаточно больших начальных ошибках изгибной жесткости  $EI$  стержня:

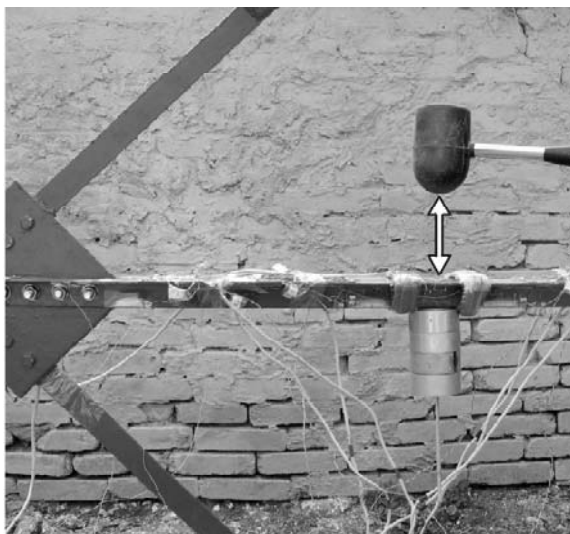
при ошибке  $\Delta EI = 18 \div 32\%$  при соответствующей гибкости стержня  $\lambda = 70 \div 140$ ).

Способ вариации масс является приближенным, поскольку является итерационным решением системы уравнений с тремя разрешающими уравнениями и четырьмя неизвестными. Точность полученного решения способом вариации масс исследовалась при различных величинах нормальных напряжений, коэффициентов угловой жесткости опор стержня, начальных погрешностей коэффициентов угловой жесткости опор, гибкости стержня, а также наиболее неблагоприятного сочетания ошибок этих факторов [9]. При этом для избежания влияния фактора сходимости итерационного алгоритма использовались результаты, полученные только после первой итерации. Такой подход трансформирует представленный итерационный алгоритм (рис. 3) в простой шаговый. Получено, что при начальной погрешности величин относительных коэффициентов угловой жесткости не больше 10%, величина полученных напряжений способом вариации масс имеет абсолютную погрешность не больше  $\Delta\sigma = (140/\lambda)^2$ , что, например, для гибкости  $\lambda = 100$  составляет 1,96 МПа.

### Практическое применение способа вариации масс

Способ вариации масс является сегодня наиболее простым с точки зрения практического применения при использовании вибрационного метода в натуральных условиях. Для его реализации требуется тарированная масса  $M = (0.1 \div 0.3)mL$ , которая жестко закрепляется на стержне либо при помощи шпильки, например, для поперечного сечения из спаренных уголков (рис. 7), либо с использованием специальных элементов крепления (рис. 8).

Точки закрепления сосредоточенной массы на стержне определяются расчетными состояниями способа вариации масс (рис. 2). В состоянии “2” середину стержня определяют путем деления его на равные части между ближайшими точками узлового закрепления (крайними болтами, краями сварных швов и т.п.). Закрепление массы в расчетных состояниях “3” и “4” производят смещением от середины на



**Рис. 7.** Возбуждение поперечных колебаний стержня с закрепленной сосредоточенной массой.

одинаковые расстояния  $a=(0,15\div 0,3)L$  к левой и правой опоре. В каждом из состояний вызываются собственные поперечные колебания стержня, и определяется значение собственной частоты колебаний основного тона. Применение вибрационного метода с использованием способа вариации масс в натуральных условиях приведено в [9, 18, 19].

### Выводы

Способ вариации масс позволяет наиболее просто в плане практического применения в сравнении с известными аналогами производить уточнения параметров динамической модели вибрационного метода. Способ вариации масс экспериментальным путем в натуральных условиях позволяет уточнить эффективную длину и характеристики закрепления испытываемого элемента и тем самым обеспечить удовлетворительную точность определения действующих продольных усилий в стержнях ферменных конструкций вибрационным методом.

### Литература

1. Butzel L.M., Merchant H.C. The Use and Evaluation of Shock Spectra in the Dynamic Analysis of Structures // Proceedings of ASME, Applied Mechanics. – 1973. – №2. – P. 115-121.



**Рис. 8.** Схема крепления сосредоточенной массы на стержне трубчатого сечения.

2. Collacott R.A. Structural integrity monitoring. – London, New York: Chapman & Hall, 1985 [Русс. пер.: Коллакотт Р. Диагностика повреждений.-М.: Мир, 1989.-512с.]
3. Cornell C.A. Bounds on the Reliability of Structural System// Journ. of Struct. Div. – ASCE. – Vol. 93. – No. St1. – 1967. – P.171-200.
4. Hunaidi, O., Rainer, J.H. and Pernica, G. Measurement and analysis of traffic induced vibrations// Proceedings of and International Symposium on Transport Noise and Vibration. - St. Petersburg, Russia, – 1994, – P.103-108.
5. Le Patner B.B., Jonson S.M. Structural and foundation failures. – New York: Mc Graw-Hill, 1982.
6. Linjama J. Characterization of structural vibration: Field descriptors based on energy density and intensity. – Espoo. – 1993. – 31 p.
7. Marpl S.L. The digital spectral analysis and his applications. – New York: Mc Graw-Hill, 1982. [Марпл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 265с.]
8. Горохов Е.В. Повышение долговечности и надежности металлических конструкций промышленных зданий и сооружений в условиях эксплуатации и реконструкции.- Научный доклад ... доктора техн. наук, Днепропетровск – 1992 г. – 90 с.
9. Денисов Е.В. Определение параметров напряженного состояния элементов эксплуатируемых металлических ферменных конструкций усовершенствованным вибрационным методом. – Дисс... канд. техн. наук. – Макеевка: ДНАБА, 2006. – 226с.



10. Лурье Ф.М. Об учете условий опирания стержней при динамическом расчете решетчатых металлических конструкций. – Строит. механика и расчет сооружений, 1977, №5. – с. 64-67.
11. Лурье Ф.М., Григорьева Г.Н. Определение усилий в стержнях вибрационным методом. – Строит. механика и расчет сооружений, 1981, №3. – с. 71-73.
12. Лурье Ф.М., Файнберг И.И. Применение вибрационного метода при обследовании металлических конструкций. – 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. научн. тр. – Харьков.: ХТУРЭ, 1998. – 484с.
14. Файнберг И.И. Вибрационный метод определения осевых усилий в элементах металлических конструкций с использованием дополнительных связей и нагрузок. – Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Ленинград, 1978. – 20 с.
15. Шевченко Ф. Л. Динамика упругих стержневых систем: Учебное пособие. – Донецк: ООО "Лебедь", 1999. – 268 с.
16. Югов А.М. Техническая диагностика и оценка остаточного ресурса эксплуатируемых металлических конструкций. – Дисс... доктора техн. наук. – Макеевка: ДГАСА, 2004. – 270 с.
17. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81\*) / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат. – 1990. – 146 с.
18. Денисов Е.В. Стенд для экспериментального изучения вибрационного метода // Металлические конструкции. – 2006 – Том. 10. – Вып. 2. – С.107-111.
19. Югов А.М., Денисов Е.В., Миронов А.Н. Динамические и вибрационные испытания элементов моста ленточного конвейера ЛК-6 Зуевской ТЭС // Металлические конструкции. – 2006 – Том. 10. – Вып. 2. – С.141-148.

**Югов Анатолий Михайлович** – д.т.н., профессор, завідувач кафедри "Технологія, організація та охорона праці в будівництві", Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій, Член Міжнародної асоціації просторових конструкцій, Член Української спілки з неруйнівного контролю та технічної діагностики. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій технічна діагностика будівельних конструкцій.

**Денисов Євген Валерійович** є асистентом кафедри "Теоретична і прикладна механіка" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: динаміка стержневих конструкцій, технічна діагностика будівельних конструкцій.

**Югов Анатолий Михайлович** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Технология, организация и охрана труда в строительстве", Членом Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Член Международной ассоциации пространственных конструкций, Член Украинского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, техническая диагностика строительных конструкций.

**Денисов Евгений Валериевич** является ассистентом кафедры "Теоретическая и прикладная механика" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: динамика стержневых конструкций, техническая диагностика строительных конструкций.

**Yugov Anatoly Mykhaylovych** – Dc. Sc.(Eng), professor, Head of the Department "Technology, Organization and Protection of Labour in Civil Engineering" of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a Member of the Ukrainian Association of Metal Structures, a Member of the International Association of Spatial Structures, a Member of the Ukrainian Society on the NDT testing and Engineering Diagnostics. His research interests are an operational reliability of metal structures, engineering diagnostics of building structures.

**Denisov Yevgen Valeriyovych** is an assistant professor of the Department "Theoretical and applied mechanics" of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture His research interests are dynamics of rod structures, engineering diagnostics of building structures.