

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

### ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ С УЧЕТОМ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

**Ковров А.В., Чайковский Р.Э., Синюкина Т.А.** (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Складені алгоритми і програми в СКМ МАТЛАВ, які дозволяють визначати напружено-деформований стан нерозрізних залізобетонних балок при статичних та динамічних впливах, а також при їх спільній дії з врахуванням тріщиноутворення, наведено приклад.

**Актуальность исследований** – для динамических нагрузок влияние трещинообразования на жесткостные свойства железобетонных конструкций исследовано весьма недостаточно, и в практических расчетах в соответствии с действующими нормами при определении жесткости железобетонное сечение считается упругим, однородным и не имеющим трещин.

**Цель работы** – создать расчетную модель неразрезных железо-бетонных балок, реализованную при помощи численно-аналитического варианта МГЭ, которая позволяет рассчитывать рассматриваемые конструкции на динамические воздействия с учетом трещинообразования.

На основании предложений, содержащихся в работах [1...4], в настоящей работе при расчете на динамические воздействия приняты подходы, реализованные в работах [5, 6].

Для определения жесткостей сечений неразрезных железобетонных балок используется методика определения жесткостей железобетонных изгибаемых элементов при статических воздействиях, основанная на предложениях И.Е.Прокоповича.

Для каждого участка железобетонной балки с кусочно постоянной жесткостью используется модель деформирования

$$B_i \frac{d^4 v(x)}{dx^4} - m\omega^2 v(x) = q(x), \quad (1)$$

в которой  $B_i$  – жесткость  $i$ -го локального участка.

Напряженно-деформированное состояние вынужденных колебаний неразрезной железобетонной балки описывается матричным уравнением поперечных колебаний численно-аналитического варианта метода граничных элементов [7, 8]

$$Y(t_i) = A(t_i)X(0) + B(t_i) \quad (2)$$

в котором порядок матриц зависит от количества участков разбиения.

Задача определения напряженно-деформированного состояния неразрезных железобетонных балок при статических и динамических воздействиях с учетом трещинообразования является замкнутой.

В связи с этим в работе используется метод последовательных приближений, блок-схема которого приведена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема итерационного процесса расчета

Согласно блок-схеме расчет с корректировкой жесткостей повторяется до тех пор, пока не будет достигнута сходимость итерационного процесса. В качестве признака сходимости принимается условие:

$$\frac{|M_k^j - M_k^{j-1}|}{|M_k^j|} \leq 0,01.$$

Здесь,  $M_k^j$ ,  $M_k^{j-1}$  – значения изгибающих моментов в  $k$ -м характерном сечении, полученных на двух последовательных итерациях  $j$  и  $j-1$ . Определение напряженно-деформированного состояния неразрезных железобетонных балок от совместного действия статических и динамических воздействий с учетом трещинообразования производится по блок-схеме, приведенной на рис. 2.

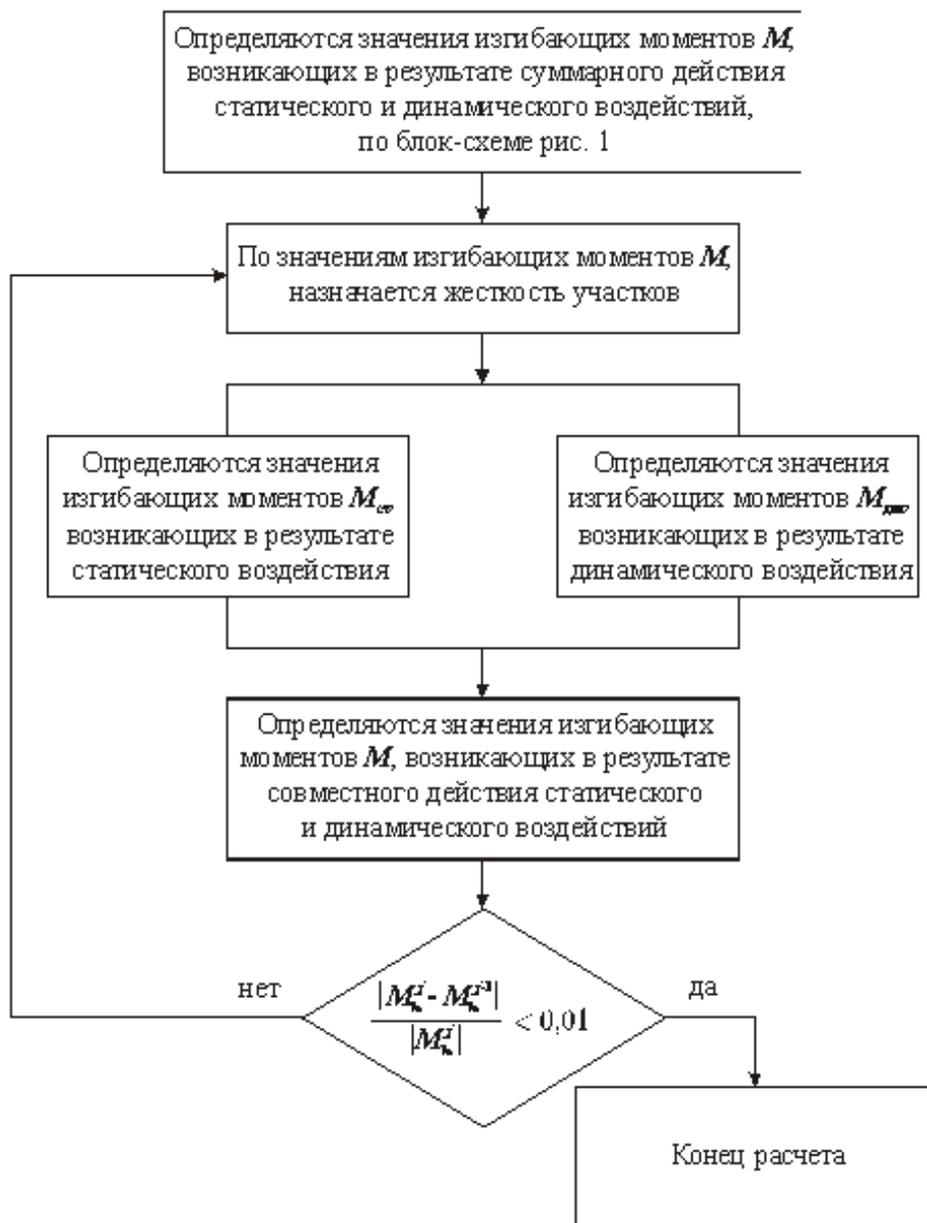


Рис. 2. Блок-схема итерационного процесса расчета

Расчет с корректировкой жесткостей повторяется до тех пор, пока не будет достигнута сходимость итерационного процесса (3).

Рассмотрим расчет конструкции, расчетная схема которой приведена на рис. 3.

Балка загружена полезной симметрично приложенной статической нагрузкой  $q = 22,5$  кН/м, а также сосредоточенными силами  $F = 16,7$  кН (по два ткацких станка для тяжелой ткани в каждом из пролетов).

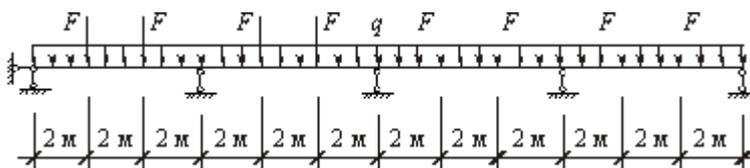


Рис. 3. Схема статического нагружения балки

На рис. 4 приведена схема динамического нагружения балки. Инерционная сила, возникающая при работе ткацких станков,  $F_0 = 1,75$  кН, частота вынужденных колебаний  $\theta = 15,7$  1/с.

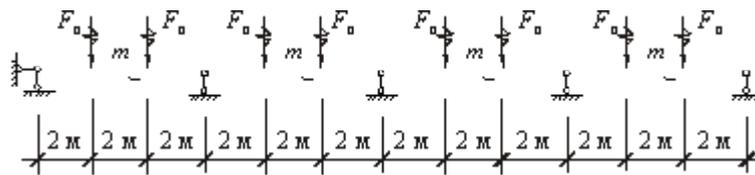


Рис. 4. Схема динамического нагружения балки

На рис. 5 приведены поперечные сечения балки в пролетах и в приопорных участках.

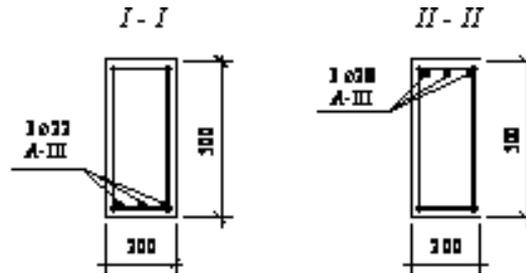
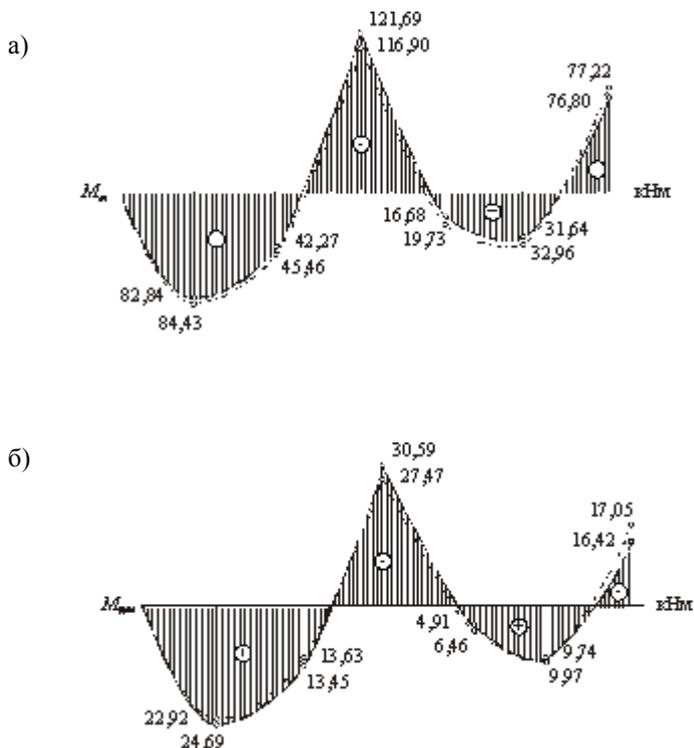


Рис. 5. Поперечные сечения балки

По результатам расчетов уточнено армирование пролетных и опорных сечений рассматриваемой балки. При повторном проектировании балки процент армирования в пролетных сечениях уменьшился с 1,14% до 0,76%, а в опорных – с 1,85% до 1,14%.

На рис. 6 приведены эпюры изгибающих моментов, возникающих в характерных сечениях половины балки при новом армировании. Значения определены в предположении упругой работы балки, а также с учетом перераспределения усилий в результате трещинообразования.



в)

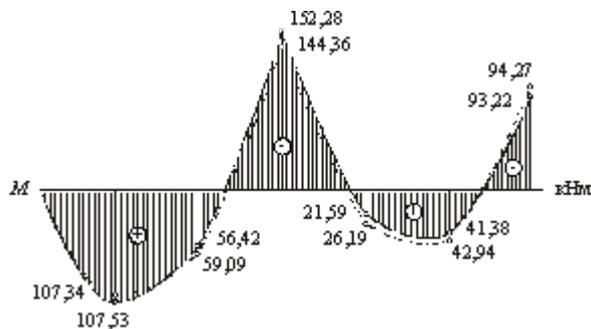


Рис. 6. Эпюры изгибающих моментов

а) при действии статически приложенной нагрузки

б) при действии динамически приложенной нагрузки

в) при совместном действии статической и динамической нагрузок

— — — — — значения в предположении упругой работы

— значения с учетом трещинообразования.

При расчете рассматриваемой железобетонной балки на статическую нагрузку с учетом перераспределения усилий в результате трещинообразования сходимость итерационного процесса достигнута на четвертой итерации.

Значения инерционных сил значительно меньше, чем значения статически приложенных нагрузок. В связи с этим, значения жесткостей сечений при расчете на динамические воздействия были приняты по результатам расчета на статические воздействия.

При расчете железобетонной балки на совместное действие статического и динамического воздействий с учетом перераспределения усилий в результате трещинообразования сходимость итерационного процесса достигнута на второй итерации.

Значения изгибающих моментов, полученных в результате расчета с учетом трещинообразования, отличаются от значений, полученных при расчете в предположении упругой работы балки:

- при действии статически приложенной нагрузки до 18,0%;
- при действии динамически приложенной нагрузки до 31,0%;
- при совместном действии статической и динамической нагрузок до 21,0%.

Проведенные расчеты показали то, что трещинообразование более существенно сказывается на перераспределении изгибающих моментов, возникающих при динамических воздействиях.

В балке с уменьшенным процентом армирования величина перераспределения усилий при статическом воздействии увеличилась до 1%, а при динамическом воздействии – до 7%.

### Выводы

1. Предлагаемая расчетная модель, реализованная при помощи численно-аналитического варианта метода граничных элементов, позволяет достоверно определять напряженно-деформированное состояние вынужденных колебаний неразрезных железобетонных балок.

2. Составлена программа в системе компьютерной математики MATLAB, которая позволяет определять напряженно-деформированное состояние неразрезных железобетонных балок при статических и динамических воздействиях, а также при их совместном действии с учетом трещинообразования, оценивать величину перераспределения усилий и рационально проектировать рассматриваемые конструкции.

3. Проведенные численные исследования показали то, что трещинообразование более существенно сказывается на перераспределении изгибающих моментов, возникающих при динамических воздействиях.

4. С уменьшением процента армирования неразрезных железобетонных балок величина перераспределения усилий проявляется больше.

#### Литература

1. Бернштейн Р.Д. Экспериментальное определение динамической жесткости изгибаемых железобетонных элементов с трещинами / Р.Д.Бернштейн, Э.А.Неустроев, Ю.Т.Чернов // Исследования по динамике сооружений. Труды института. – Москва, 1971. – № 17. – С. 116-122.
2. Железобетонные конструкции / Под ред. Л.П.Полякова, Е.Ф.Лысенко, Л.В.Кузнецова. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1984. – 352с.
3. Неустроев Э.А. Некоторые вопросы статического и динамического расчета конструкций с трещинами: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / Э.А.Неустроев. – Москва, 1972.
4. Проектирование железобетонных конструкций: Справочное пособие / А.Б.Голышев, В.Я.Бачинский и др. – Киев: Будивэльник, 1990. – 2-е изд., перераб. и доп. – 544с.
5. Ковров А.В. К анализу закономерностей деформирования сечений неразрезных железобетонных балок / А.В.Ковров, Р.Э.Чайковский, Т.А.Синюкина // Вісник ОДАБА. – Одесса, 2007. – № 27. – С. 178-183.
6. Ковров А.В. Напряженно-деформированное состояние неразрезных железобетонных балок: дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / А.В.Ковров. – Одесса, 2007.
7. Оробей В.Ф. Решение задач статики, динамики и устойчивости стержневых систем. Применение метода граничных элементов / В.Ф.Оробей, А.В.Ковров. – Одесса, 2004. – 122с.
8. Баженов В.А. Численные методы в механике / В.А.Баженов, А.Ф.Дашенко, Л.В.Коломиец, В.Ф.Оробей, Н.Г.Сурьянинов. – Одесса: «Стандартъ», 2005. – 564с.