

УДК 624.011.1

DOI 10.21661/r-114933

Х.М. Муселемов, О.М. Устарханов, И.А. Ферзалиев

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ТРЕХСЛОЙНЫХ БАЛОК

Аннотация: авторы данной статьи отмечают, что одним из широко применяемых в практике методов прочностного расчета конструкций является метод конечных элементов (МКЭ). МКЭ представляет собой процедуру приближенного решения дифференциальных уравнений. Изначально он разрабатывался для решения задач, связанных с расчетом прочности конструкций, то есть для расчета сил, напряжений и деформаций в твердых телах.

Ключевые слова: трехслойная балка, метод конечных элементов, лира, несущий слой, сотовый заполнитель.

Kh.M. Muselemov, O.M. Ustrakhanov, I.A. Ferzaliev

APPLICATION OF LAST ELEMENTS DURING CALCULATING THE THREE-LAYER BEAMS

Abstract: authors of this article note that one of the widely used in practice methods of strength calculation of structures is the finite element method (FEM). FEM is a procedure of approximate solution of differential equations. It was originally designed for solving problems related to the calculation of strength of structures, that is, to calculate forces, stresses and strains in solids.

Keywords: three-layer beam, finite element method, Lyra, base layer, honeycomb.

Трехслойные балки представляют собой сложную пространственную конструкцию, образованную верхним и нижним несущими слоями, а также сотовой конструкцией заполнителя (рис. 1). Соединение несущих слоев с сотовым заполнителем осуществляется с помощью клея.

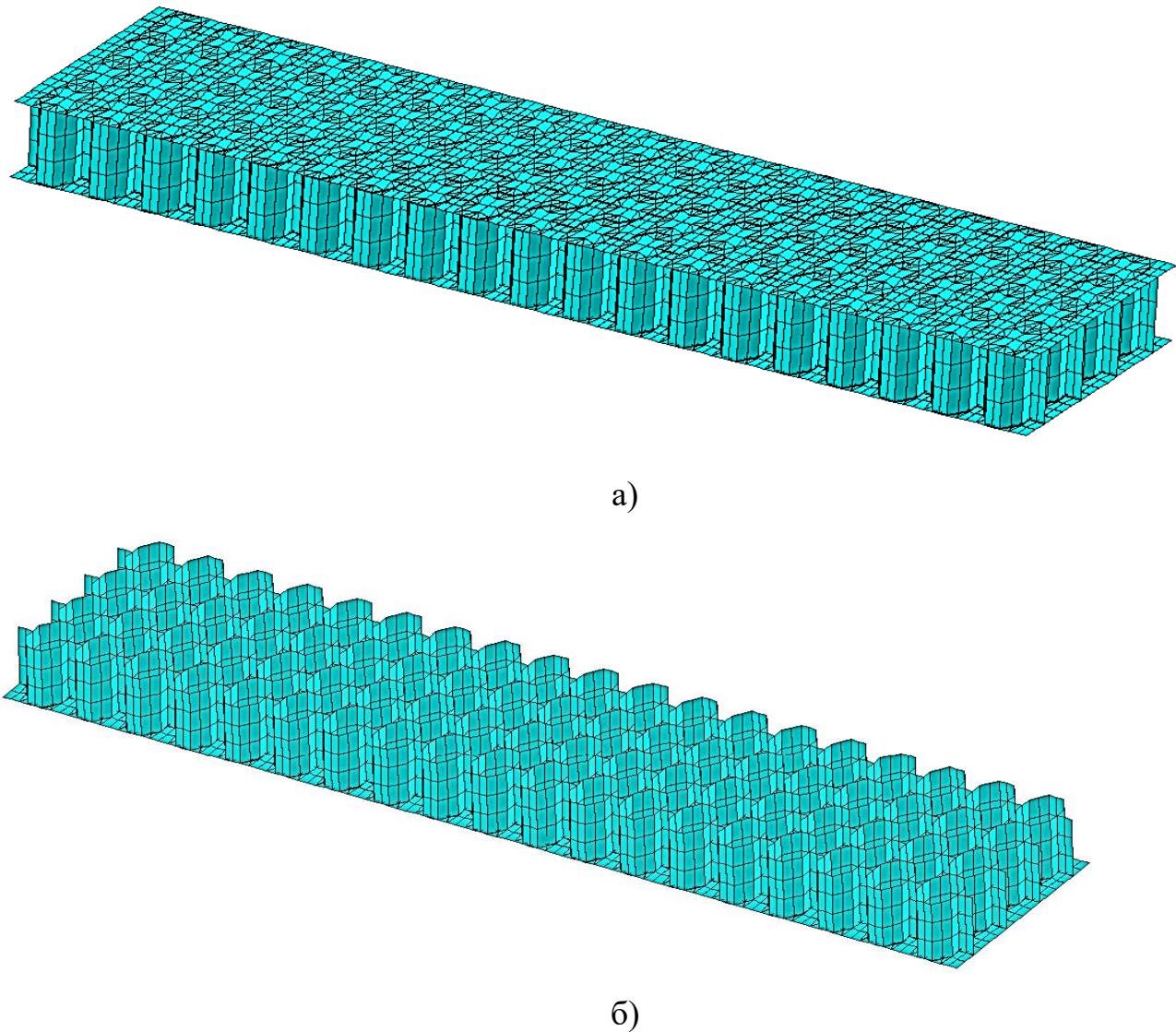


Рис. 1. Трехслойная балка:

а) общий вид; б) сотовый заполнитель

Конструкция трехслойной балки сама по себе является весьма жесткой при работе на плоский изгиб, что делает ее весьма привлекательной для применения в реальных конструкциях, особенно учитывая ее относительную легкость [3].

В настоящее время расчёт ТК ведётся различными методами. Одним из распространённых методов является метод, предложенный В.Н. Кобелевым [1]. Данний подход весьма удобен при решении инженерных задач, но недостаточно

эффективен при решении научно-исследовательских задач, так как не дает всей полноты информации о поведении отдельных элементов структуры.

Развитие компьютерных технологий привело к созданию большого количества программ расчета прочности и устойчивости конструкций, основанных на различных методах строительной механики и теории упругости.

Как отмечалось выше, настоящую революцию в строительной механике и теории упругости произвело появление метода конечных элементов. Неограниченные возможности реализации компьютерных моделей на основе МКЭ обусловили разработку новых методов математической физики для решения задач динамики, устойчивости, физической и геометрической нелинейности.

В настоящее время у инженеров и научных работников востребованы программные комплексы, однако лишь единицы из них ориентированы на строительную область [2]. Так, в России и странах ближнего зарубежья наибольшей популярностью пользуются программные комплексы STARK и MicroFe (Россия), SCAD и LIRA (Украина), основанные на нормах и стандартах данного региона.

На основе названных предпосылок, в работе сделан выбор в пользу программного комплекса LIRA (ПК ЛИРА).

В качестве примера рассмотрим ТБ длиной 50 см, высотой 6,00 см. Ширина балки варьируется в зависимости от размера сот. Размер грани соты составляет 10, 15 и 20 мм. Условие опирания – жесткие заделки. Нагрузка на балку – равномерно распределенная, менялась в пределах $0,1 \text{ кгс}/\text{см}^2 \div 0,3 \text{ кгс}/\text{см}^2$.

В качестве расчетной схемы использовалась система вертикальных и горизонтальных пластин со следующими характеристиками:

- несущие слои (горизонтальные пластины) – толщина 1 мм, материал: алюминий АМГ2–Н ($E = 69000 \text{ МПа}$, $\nu = 0,35$, $\rho = 26,8 \text{ кН}/\text{м}^3$);
- сотовый заполнитель с размерами грани ячейки $r = 10; 15; 20 \text{ мм}$ (вертикальные пластины) – толщина 0,24 мм, материал: алюминий Д16–АТ ($E = 69000 \text{ МПа}$, $\nu = 0,35$, $\rho = 26,8 \text{ кН}/\text{м}^3$).

Исходя из вида работы и напряженно-деформированного состояния элементов в качестве расчетных были приняты четырех- и трех узловые конечные элементы пологих оболочек. Линейная независимость базисных функций проверяется для МКЭ автоматически. Полнота системы базисных функций также выполняется, так как порядок полинома, выражаемого линейными комбинациями функции φ_{jg} , $p = m$ ($p = 2$ – порядок полинома; $2m = 4$ – порядок дифференциального оператора A).

Таким образом, сходимость решений доказана.

Характер распределения напряжений верхнего несущего слоя в середине ТБ представлены на рисунках 2, 3, и 4. Распределения напряжений в стенке заполнителя представлены на рисунке 3.

Прогибы в балке в зависимости от приложенных нагрузок показаны на рисунке 4. На рисунке в шкале по цветам показаны величины прогибов.

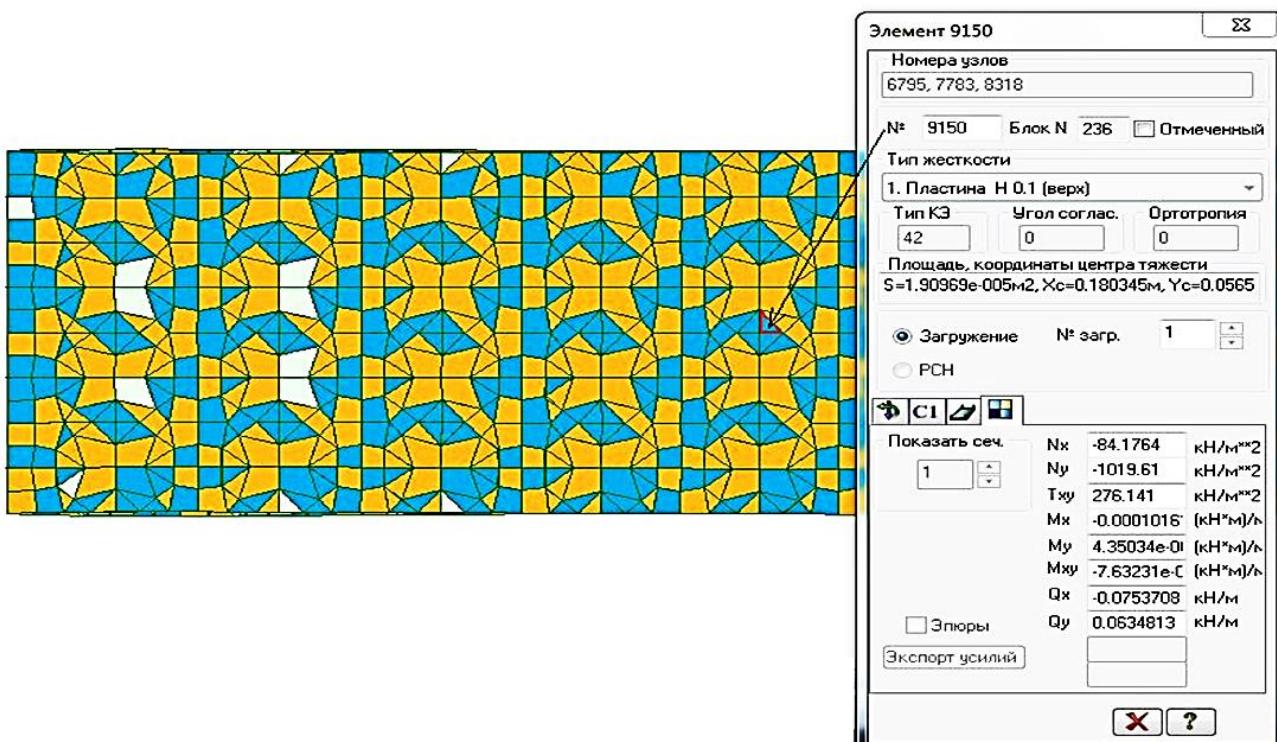


Рис. 2. Главные напряжения в верхнем несущем слое в середине ТБ с восьмигранной формой ячейки с размером грани $r = 15$ мм

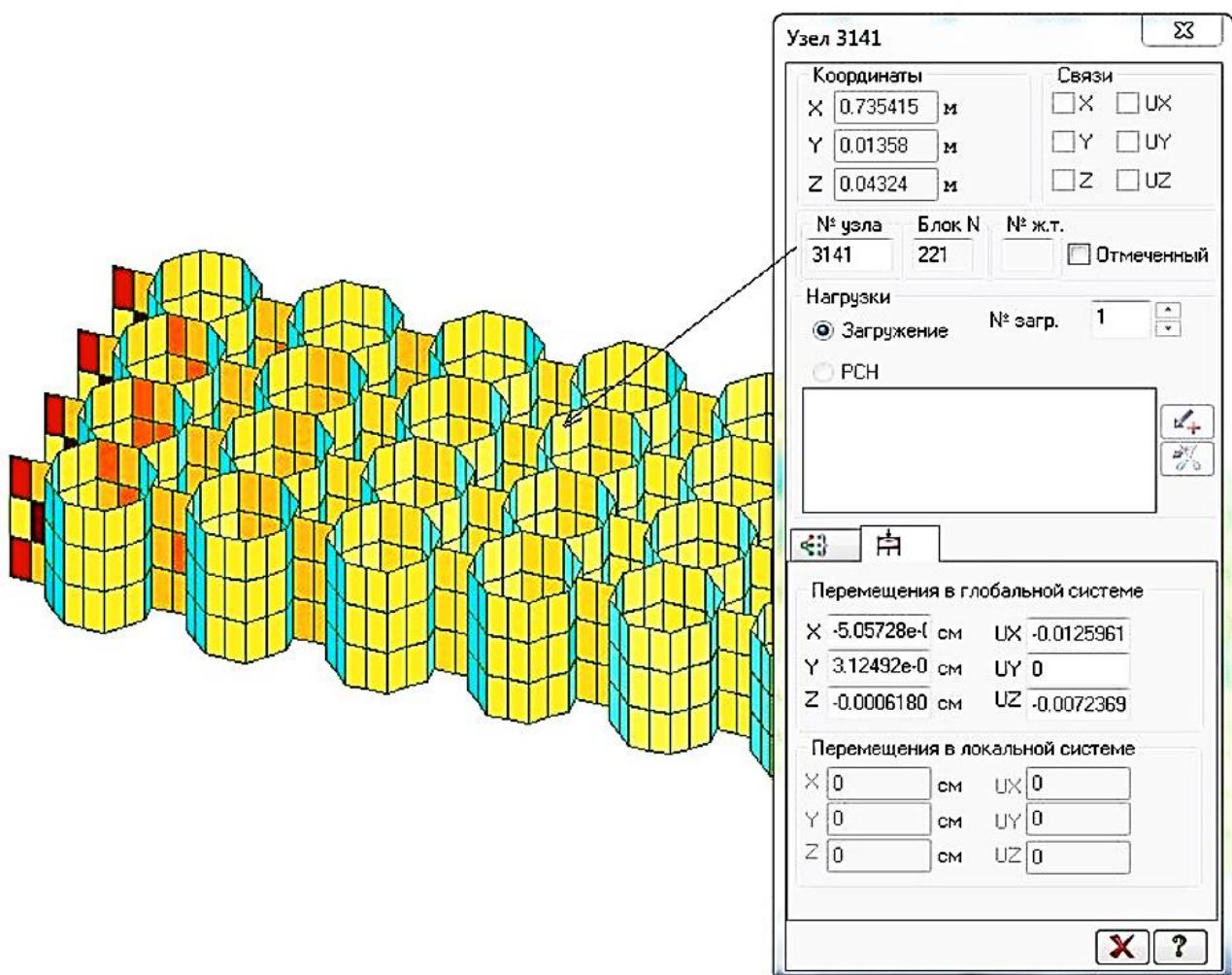


Рис. 3. Напряжения в стенке заполнителя ТБ с восьмигранной формой ячейки с размером грани $r = 15$ мм

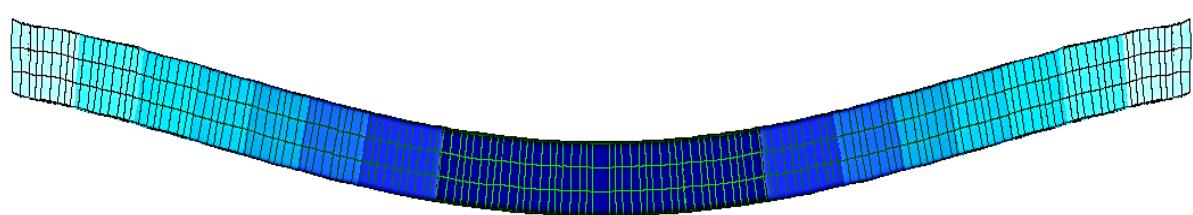
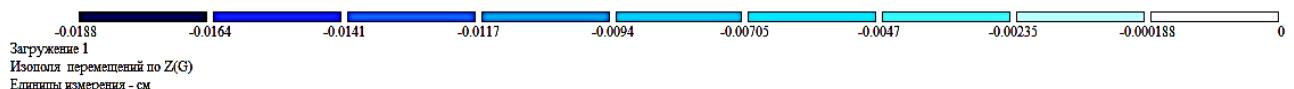


Рис. 4. Значения прогибов ТБ с восьмигранной формой ячейки с размером грани $r = 15$ мм

Сравнение результатов численного эксперимента, проведенного с помощью ПК ЛИРА, с теоретическими расчетами, приведенными по методике, изложенный в работе [1], показывает достаточно хорошее совпадение вычисляемых параметров, что подтверждает правильность выбранной модели МКЭ и принятый тип конечных элементов.

В ходе численных экспериментов, проведенных с помощью ПК ЛИРА были определены прогибы и напряжения в несущих слоях трехслойной балки, которые сравнивались с теоретическими расчетами ТБ, проведенными по методике В.Н. Кобелева, и экспериментальными исследованиями, выполненными в ходе научной работы (рис. 5 и 6).

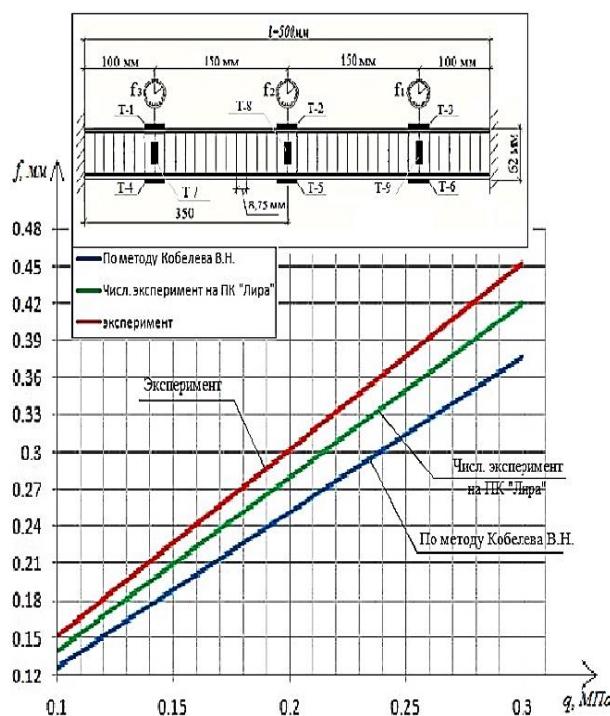


Рис. 5. График зависимостей напряжений от нагрузки ТБ в середине пролета с дискретным заполнителем размером грани ячейки 15 мм

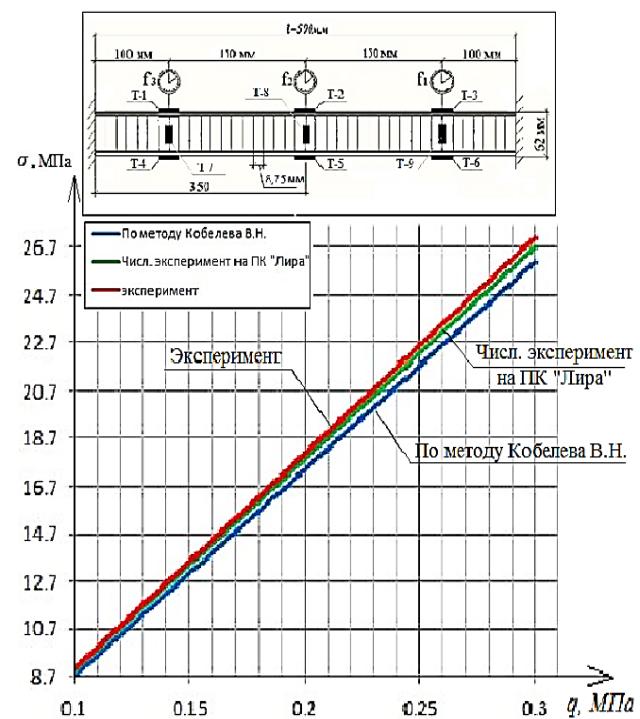


Рис. 6. График зависимостей прогибов от нагрузки ТБ в середине пролета с дискретным заполнителем размером грани ячейки 15 мм

Список литературы

1. Кобелев В.Н. Расчет трехслойных конструкций / В.Н. Кобелев, Л.М. Коварский, С.И. Тимофеев. – М.: Машиностроение. – 1984.
 2. Городецкий А.С. Компьютерные модели конструкций / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – М.: Ассоциации строительных вузов. – 2009. – С. 360.
 3. Панин В.Ф. Конструкции с заполнителем: Справочник / В.Ф. Панин, Ю.А. Гладков. М.: Машиностроение. – 1991. – С. 271.
-

Муселемов Хайрулла Магомедмурадович – канд. техн. наук, старший преподаватель ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», Россия, Махачкала.

Muselemov Khairulla Magomedmuradovich – candidate of technical sciences, senior teacher FSFEI of HE “Dagestan State Technical University”, Russia, Makhachkala.

Устарханов Осман Магомедович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», Россия, Махачкала.

Ustarkhanov Osman Magomedovich – doctor of technical sciences, professor, Head of Department FSFEI of HE “Dagestan State Technical University”, Russia, Makhachkala.

Ферзалиев Ильяс Альбертович – аспирант ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», Россия, Махачкала.

Ferzaliev Ilias Albertovich – postgraduate FSFEI of HE “Dagestan State Technical University”, Russia, Makhachkala.
