



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬНЫХ НАУК

Научный совет «Программные средства в строительстве и архитектуре»

С В И Д Е Т Е Л Ь С Т В О

№ 01/MicroFe/2009

о верификации программного средства, применяемого для определения параметров напряженно-деформированного состояния, оценки прочности и деформативности конструкций и сооружений

Программное средство: **MicroFe** – специализированный программный комплекс расчета напряженно-деформированного состояния строительных конструкций на основе метода конечных элементов

Разработчик: **ООО «ТЕХСОФТ»** (Россия), **mb AES GmbH** (Германия)

Заявитель: **ООО «ТЕХСОФТ»** (Россия)

Автор верификационного отчета: **ООО «ТЕХСОФТ»** (Россия)

Дата включения в реестр верифицированных программных средств: **10 июня 2009 года**

Срок действия свидетельства: до **10 июня 2019 года**.

Перечень верифицированных возможностей программного средства **MicroFe** изложен в Приложении (на 3 стр.), являющемся неотъемлемой частью настоящего Свидетельства, и в верификационном отчете (на 327 стр.).

Вице-Президент

Академик-Секретарь

Председатель Научного Совета



Виреев
Ариш
Григорьев

**ПРИЛОЖЕНИЕ К СВИДЕТЕЛЬСТВУ О ВЕРИФИКАЦИИ
№01/MicroFe/2009**

Специализированный программный комплекс расчета напряженно-деформированного
состояния строительных конструкций на основе метода конечных элементов

MicroFe 2009

1. Возможности комплекса, прошедшие верификацию

1.1. Виды расчетов:

- статический расчет;
- определение собственных частот и форм свободных колебаний;
- расчет на вынужденные колебания;
- линейная устойчивость;
- устойчивость стержневых систем с учетом физической нелинейности;
- анализ предельного равновесия;
- анализ спектральных свойств матриц жесткости

1.2. Виды конструкций:

- стержневые системы, плоские и пространственные;
- изгибаемые плиты;
- конструкции, моделируемые плоской задачей теории упругости;
- пространственные тонкостенные распределенные конструкции;
- мембраны;
- вантовые системы;
- массивные конструкции, работающие в условиях пространственной задачи теории упругости

1.3. Виды нелинейности:

- конструктивная (односторонние, в том числе нелинейные, связи, односторонне работающие элементы);
- физическая (стальные и железобетонные конструкции, предельный анализ);
- геометрическая (большие перемещения и малые деформации, большие перемещения и большие деформации – в том числе с конечными вращениями)

1.4. Библиотека конечных элементов (КЭ):

- стержневой плоский элемент, в том числе многослойный (3 степени свободы в узле);
- стержневой пространственный элемент, в том числе многослойный (6 степеней свободы в узле);
- гибридные элементы плосконапряженного/плоскодеформированного состояния с 3 степенями свободы в узле (3-х и 4-х узловые);
- гибридные элементы изгибаемой плиты с 3 степенями свободы в узле (3-х и 4-х узловые);
- гибридные элементы плоской оболочки с 6 степенями свободы в узле, в том числе многослойный (3-х и 4-х узловые);
- гибридные объемные элементы теории упругости с 3 степенями свободы в узле (4-х, 5-ти, 6-ти и 8-ми узловые);
- конечные элементы удовлетворяют всем необходимым требованиям для обеспечения сходимости результатов расчета: функции формы конечных элементов обеспечивают непрерывность поля перемещений на границах элементов; функции формы конечных элементов включают моды перемещений

КЭ как жесткого целого; функции формы КЭ включают моды перемещений, соответствующие состоянию однородной деформации. Эти требования выполняются, в том числе для соседних элементов с различным количеством узлов, различной геометрической формы и расположенными в различных плоскостях.

1.5. ПК MicroFe в рамках верифицированных возможностей может использоваться для расчета как плоских, так и пространственных комбинированных строительных конструкций, состоящих из всего набора реализованных конечных элементов.

1.6. Ограничения на вычислительные параметры решаемых задач:

Размерность систем линейных алгебраических уравнений, решаемых программным комплексом, определяется объемом оперативной памяти, свободным пространством на жестком диске, разрядностью процессора и разрядностью операционной системы. Например, полное время расчета конструкции с 5 983 370 неизвестных (из них 713 904 для объемных элементов) на персональном компьютере со следующими характеристиками Intel E6700, 2.67GHz, 8 Gbyte RAM, Vista Ultimate составило 137 минут.

1.7. Характеристика точности верификационных расчетов

Практическая точность расчетов определяется точностью задания физико-механических характеристик материалов и точностью самой расчетной модели. Как показано в отчете, требования к качеству дискретизации в ПК MicroFe минимальны (элементы могут иметь плохую геометрическую форму и быть невыпуклыми). Для системы специальных тестов (Pathological tests) показатель качества 4-х узлового элемента плоской оболочки для 232 расчетных схем получен равным $PTS = 93.68\%$, а показатель качества 8-ми узловых объемных элементов - $PTS = 81.91\%$ для 58 расчетных схем.

Верифицированные возможности программного комплекса MicroFe 2009 описаны в верификационном отчете, в том числе в форме матриц верификации.

2. Сведения о методиках расчета, реализованных в ПК MicroFe

В программном комплексе реализованы общие подходы и принципы метода конечных элементов. За основные неизвестные приняты перемещения узловых точек конечно-элементной модели.

Решение линейных алгебраических систем уравнений проводится прямым методом на базе нескольких эффективных алгоритмов оптимизации нумерации неизвестных. Нелинейные расчеты осуществляются с использованием итерационных процедур.

Собственные частоты и формы колебаний, а также критические параметры нагрузки и формы потери устойчивости определяются из решения обобщенной проблемы собственных значений методом итераций в подпространстве.

Для решения задач устойчивости стержневых систем с учетом физической нелинейности используется алгоритм корректировки модулей.

Для интегрирования уравнений движения по времени используется метод главных координат.

Для решения задач предельного равновесия используется метод псевдожесткостей.

3. Сведения о базах данных (библиотеках констант), используемых в ПК MicroFe

Встроенных в текст программы физических констант нет. Все физико-механические, геометрические, жесткостные и инерционные характеристики задаются явно в исходных данных.

4. Официальные эксперты и рецензенты

Гл. спец. ОГС ЦНИИПСК им. Мельникова, д.т.н., проф.
Зав. ОПЛК-2 ЦНИИПСК им. Мельникова, к.т.н.
Зав. кафедрой ЮРГТУ, д.т.н., проф.

Грудев И.Д.
Ружанский И.Л.
Гайджуров П.П.

Руководитель предприятия –
Центра по организации
верификации программного средства,
член-корр. РААСН, д.т.н., проф.

Председатель Научного Совета РААСН
«Программные средства в строительстве
и архитектуре», д.т.н., проф.



Павлов А.Б.

Сидоров В.Н.