

Разработка автоматизированной системы проведения инженерных расчетов на базе промышленных технологий построения распределенных многозвенных программных КОМПЛЕКСОВ*

Димитриенко Ю.И., Соколов А.П., Першин А.Ю.

21 августа 2011 г.

Разработка программной конечно-элементной платформы стала естественным следствием работ, выполняемых на кафедре «Вычислительной математики и математической физики» МГТУ им.Н.Э.Баумана под руководством профессора Ю.И.Димитриенко.

В связи с необходимостью численного решения широкого спектра задач механики сплошных сред: микромеханики композиционных материалов, задач аэродинамики, сопряженных задач термоупругости, задач проектирования композиционных материалов и прочих, встала **задача** оптимизации процесса реализации численных методов, положенных в основу исследуемых математических моделей.

Основной **целью** разработки программной конечно-элементной платформы стало предоставление возможности использовать стандартные библиотечные функции и классы, для решения специализированных задач механики сплошной среды.

В связи с достаточно общей формулировкой цели разработки, для ее конкретизации были сформулированы следующие **требования** к будущей программной платформе, которая должна была обеспечить:

1. простую доработку существующих МКЭ решателей и создание новых на базе существующих;
2. автоматизацию процесса ввода исходных данных, используя средства генерации графического пользовательского интерфейса;

*Исследование выполнено при поддержке грантов Президента РФ МК-4223.2010.8, МК-2498.2011.8

3. возможности проведения удаленных расчетов с использованием современных параллельных численных алгоритмов («облачные» вычисления);
4. возможности сохранения получаемых результатов расчетов с целью проведения дальнейшей обработки;
5. возможности одновременной работы в системе нескольких пользователей.

Была выбрана трехзвенная архитектура программной системы Рис.1, обеспечивающая работу компонент системы принадлежащих разным логическим программным уровням Рис.2.

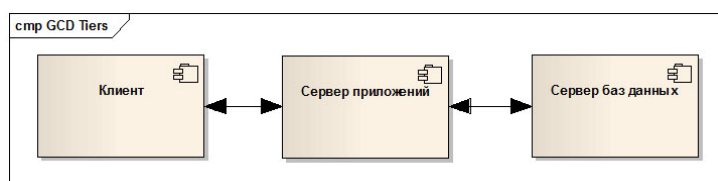


Рис. 1: Звенья системы GCD.

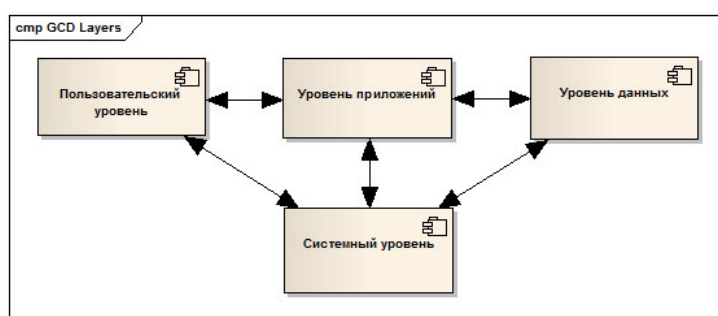


Рис. 2: Логические программные уровни системы GCD.

В качестве **научной новизны** настоящей работы следует отметить использование современных промышленных информационных **технологий и методов** в процессе реализации программных средств, обеспечивающих решение поставленных задач математического моделирования, а именно:

1. трехзвенные клиент-серверные архитектуры, изначально ориентированные для разработку промышленных распределенных информационных систем;
2. технология MVC (model-view-controller);
3. модульные технологии построения программных систем: бинарная декомпозиция системы (динамические библиотеки, плагины);
4. высокопроизводительные вычислительные средства и параллельные численные алгоритмы на базе библиотек OpenMP и MPI;

5. CASE технологии: генерация исходного кода программ по шаблонам, использование языка UML;
6. создание новых форматов данных на базе стандартных: XML, INI;
7. использование специализированных библиотек трехмерного моделирования: OpenGL;
8. использование реляционных баз данных.

На базе созданной платформы были построены реализации следующих конечно-элементных «решателей»:

1. решатель задачи статики линейной теории упругости Рис.3;
2. решатель задачи теплопроводности;
3. решатель задачи электростатики;
4. решатель задачи о поиске эффективных упругих характеристик композиционных материалов Рис.4;
5. решатель задачи о поиске эффективных упруго-прочностных характеристик композиционных материалов Рис.(5);

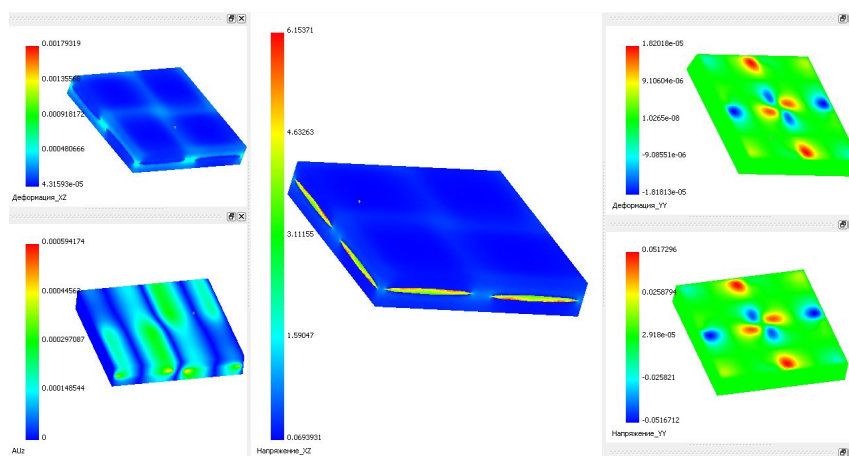


Рис. 3: Компоненты тензоров напряжений σ_{ij} и деформации ϵ_{ij} для тканевого композиционного материала полотняного типа плетения.

Для стандартизации ввода/вывода данных были разработаны специализированные форматы на базе XML и INI, которые обеспечили решение задач: ввод данных о материалах, граничных условиях, постановках задач; автоматизацию построения геометрий структур ячеек периодичности КМ и многих других.

Построенная платформа позволила:

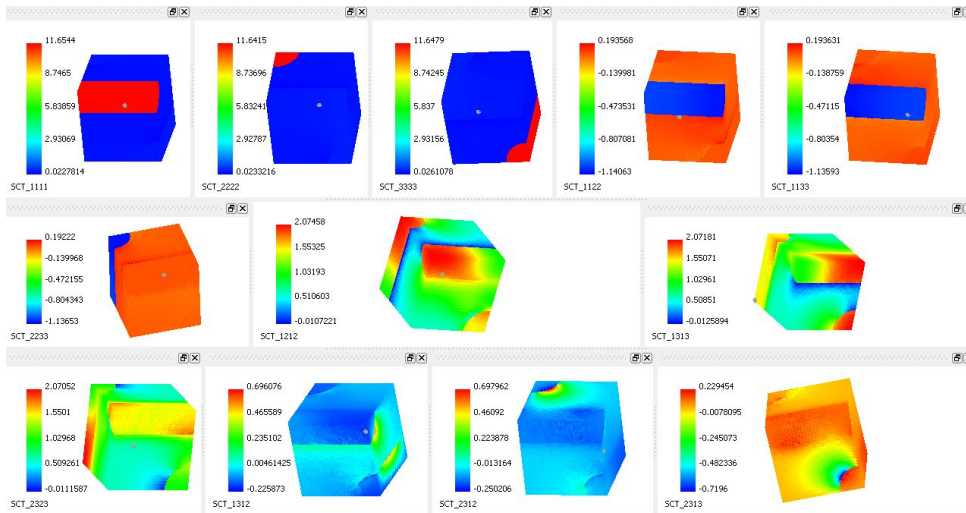


Рис. 4: Компоненты тензора концентрации напряжений B_{ijkl} для 3D-армированного композиционного материала.

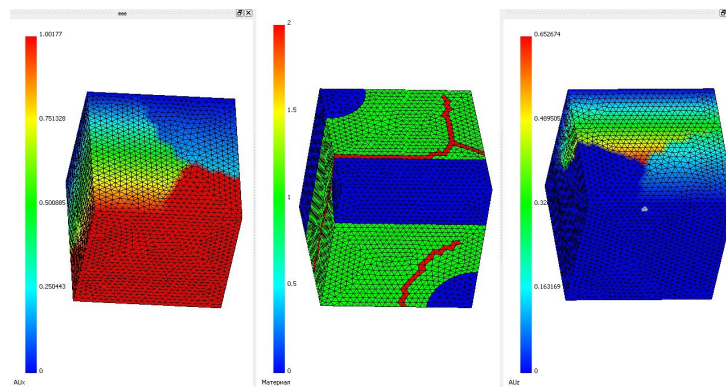
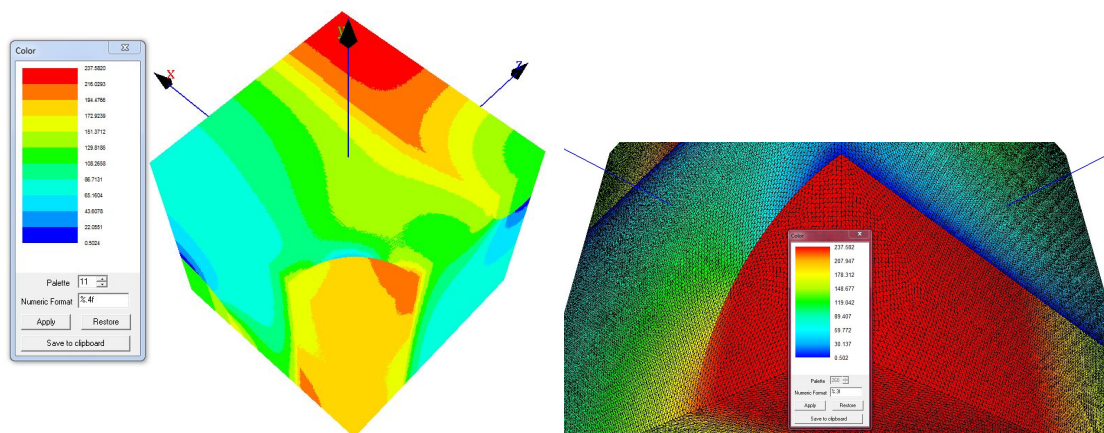


Рис. 5: Иллюстрация процесса распространения трещины в ячейке периодичности 3D-армированного композиционного материала.

1. существенно повысить масштабируемость системы в целом (как вертикальную так и горизонтальную);
2. вести командную разработку новых численных методов и доработку существующих, и как следствие, резко увеличила производительность реализации выбранных алгоритмов;
3. оптимизировать методы хранения разреженных матриц (метод CSIR («Skyline format»)) и методы решения СЛАУ большой размерности[13], в результате были проведены расчеты задач для сеток с числом конечных элементов ≈ 21 млн. (см. Рис.6);
4. обеспечить простую интеграцию с внешними системами;
5. обеспечить функционирование механизмов коллективного решения задач оптимизации;

б. обеспечить универсальные механизмы просмотра результатов расчета.



а) Поле компоненты тензора напряжений σ_{xz} для 3D-армированного композиционного материала. Число конечных элементов: $\approx 21.243.000$

б) Поле компоненты тензора напряжений σ_{xz} с обозначенной конечно-элементной сеткой.

Рис. 6: Примеры решенных МКЭ задач о напряженно-деформированном состоянии.

Таким образом можно сделать вывод о безусловной целесообразности использования современных промышленных информационных технологий в процессе разработки систем проведения инженерных расчетов.

Список литературы

- [1] Б.Страуструп. Язык программирования C++ пер. с англ. - М.:БИНОМ, СПб.: Невский диалект, 2001. - 1099 с.
- [2] Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++ (2-е изд.) - М.: Издательство «БИНОМ», 1998 - 560 с.
- [3] Скотт Мейерс. Эффективное использование STL - Санкт-Петербург, Изд. Питер, 2002 - 224 с.
- [4] Степанов А.А., Мак-Джонс Пол Начала программирования. - М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011. - 272 с.
- [5] Мэтью Г. Остерн. Обобщенное программирование и STL. Использование и наращивание стандартной библиотеки шаблонов C++ - Санкт-Петербург, Изд. Невский Диалект, 2004 - 544 с.
- [6] Саттер Г. Решение сложных задач на C++ Серия C++ InDepth - М.: Вильямс, 2002. - 400 с.

- [7] Саттер Г. Новые сложные задачи на C++ Серия C++ InDepth - М.: Вильямс, 2005. - 272 с.
- [8] Дэвид Вандевурд, Николай М. Джосаттис Шаблоны C++. Справочник разработчика C++ - М.: Вильямс, 2008. - 544 с.
- [9] Саттер Г., Андрей Александреску, Стандарты программирования на C++ - М.: Вильямс, 2008. - 224 с.
- [10] Андрей Александреску, Современное проектирование на C++: Обобщенное программирование и прикладные шаблоны проектирования - М.: Вильямс, 2004. - 336 с.
- [11] Роберт Седжвик Фундаментальные алгоритмы на C++. Анализ, структуры данных, сортировка, поиск. - СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2002. - 688 с.
- [12] Димитриенко Ю.И., Соколов А.П. Система автоматизированного прогнозирования свойств композиционных материалов // Информационные технологии. – 2008. – №8. – С. 31–38.
- [13] Баландин М.Ю. Методы решения СЛАУ большой размерности. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 70 с.
- [14] Никулин Е.А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 560 с.