УДК 004.942 05.13.12

**А.П. Соколов**, канд. физ.-мат. наук, доцент РК-6, e-mail: [alsokolo@bmstu.ru](mailto:alsokolo@bmstu.ru)

Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**А.Ю. Першин**, ассистент РК-6, e-mail: [apershin@bmstu.ru](mailto:apershin@bmstu.ru)

Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**В.О. Голубев**, бакалавр РК-6, e-mail: [vgolubev@bmstu.ru](mailto:vgolubev@bmstu.ru)

Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**Система автоматизированного проектирования композиционных материалов. Часть 3: графоориентированная методология разработки средств взаимодействия пользователь-система**

*В работе представлен оригинальный подход к реализации программных средств взаимодействия пользователь-система, упрощающий процессы работы в сложном наукоёмком программном обеспечении. Обоснована необходимость разработки подхода и представлены области его применения. Приведены примеры графового описания процесса решения комплексной инженерной задачи, предполагающей необходимость использования сложных вычислительных методов.*

**Ключевые слова:** *технологии разработки инженерного программного обеспечения, применение графоориентированного подхода, описание бизнес-логики, вычислительных библиотек, автоматизированное проектирование композиционных материалов, система автоматизированного проектирования, система инженерного анализа, плагин, модуль расширения.*

# Введение

# Вычислительная подсистема

C увеличением сложности программной реализации численного алгоритма, проблема отладки встает все более остро: количество частей исходного кода программы, потенциально содержащих ошибки, возрастает экспоненциально, что ведет к существенно большим трудозатратам на отладку и сопровождение.

Увеличивающая сложность приводит к необходимости задействовать многопроцессорные ресурсы, что может приводить к необходимости переработки ранее написанного кода (разработка параллельных версий ранее написанных программ). Разработка платформозависимого кода в таком случае: либо приведёт к необходимости закупки конкретной HPC под управлением конкретной ОС, либо существенно усложнит процесс портирования кода, так как HPC обычно функционируют на различных ОС.

Привлечение большего числа разработчиков не решает проблему, а еще больше усугубляет, т.к. приводит к проблеме согласованности внесения изменений в исходный код общей системы. Частичное решение этой проблемы предоставляют системы контроля версий (например Subvesion, GIT и другие), но и они не позволяют обеспечить логическую согласованность вносимых изменений. Каждый разработчик не может заранее знать всю архитектуру большой системы, но должен в ней вести работы, что небезопасно для целостности исходного кода – возможно нарушение принципов построения.

Функциональные возможности наукоёмкого ПО, включая промышленные САПР различного назначения, могут быть очевидным образом сгруппированы: а) функции по подготовке данных («препроцессинг»); б) функции по обработке данных («процессинг»); в) функции по пост-обработке («постпроцессинг») данных; г) комплексные функции, включающие множество циклов: «препроцессинга», «процессинга» и «постпроцессинга». Функции соответствующих типов обычно используются в заранее определённом порядке (Рис. 6). Такая классификация в рамках представляемой САПР КМ была реализована добавлением атрибута «*группа типов компонент по общему назначению*» в тип компоненты по предметному назначению (см. в т.ч. Рис. 2).



Рис. 6 – Этапность выполнения функций разных типов при решении многих вычислительных инженерных задач

Вычислительная подсистема является ключевой в представляемой САПР КМ. Подсистема разрабатывается с применением графоориентированного подхода [35].

Состав вычислительной подсистемы представлен в Таблице 1.

Таблица 1 – Отдельные элементы платформы SA2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Программные средства** | **Описание** |
|  | gcdfes | Библиотека конечно-элементных функций (загрузчики свойств материалов, загрузчики граничных условий, загрузчики сеток). |
|  | gcdhom | Библиотека функций, обеспечивающих работоспособность методов гомогенизации. |
|  | gcdopt | Библиотека функций, обеспечивающих работоспособность методов оптимизации. |
|  | gcddot | Библиотека графовых моделей решателей задач. |
|  | gcdini | Библиотека входных данных (постановок) задач. |
|  | hom3d | Библиотека классов для решения задач прямой и обратной трехмерной гомогенизации композитов. |

*Определение 1.* Компонентом системы  будем называть элемент множества :

|  |  |
| --- | --- |
| . | (6) |

[старые статьи]

О.Г. Цыплаков Научные основы технологии композиционно-волокнистых материалов. Части 1,2 – Пермь: Пермское книжное издательство. 1975. 276 с.

Левин В.А., Вершинин А.В. Промышленный пакет для прочностного инженерного анализа. В сборнике: ХI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики сборник докладов. Составители: Д.Ю. Ахметов, А.Н. Герасимов, Ш.М. Хайдаров; ответственные редакторы: Д.А. Губайдуллин, А.И. Елизаров, Е.К. Липачев. 2015. С. 2281-2283.

**Baker, P.** Integrated approach to finite element analysis of advanced composite structures. Computer-Aided Design, Vol. 21, Issue 7, 1989. pp. 441–446. doi:10.1016/0010-4485(89)90130-9

Sun W, Lau A. A knowledge-enriched CAD modeling and solid free-form realization for heterogeneous material structures. In: Proceeding of The Seventh International Conference on Rapid Prototyping, 31 March-3 April, 1997, San Francisco, CA. p.79-87.

Kumar V, Dutta D. An approach to modeling and representation of heterogeneous objects. J Mechanical Design 1998; 120:659 - 67.

Sun W, Dwivedi A. Heterogeneous CAD modeling based finite element analysis for effective properties of 3D textile composites in preparation.

Aboudi J. Micromechanical analysis of composites by the method of cells. Appl Mech Rev 1989; 42:193–221.

Prodromou A. Mechanical modelling of textile composites utilizing a cell method, in Department MTM. Leuven: K.U. Leuven; 2004. p. 149.

Huang Z-M, Ramakrishna S. Towards automatic designing of 2D biaxial woven and braided fabric composites. J Compos Mater 2002;36(13):1541–79.

Dimitrienko Y.I. and Sokolov A.P. Elastic properties of composite materials// Mathematical Models and Computer Simulations, 2010, Volume 2, Number 1, Pages 116-130. DOI: <http://dx.doi.org/10.1134/S2070048210010126>

**СОДЕРЖАНИЕ**

**АННОТАЦИЯ**

**ВВЕДЕНИЕ**

Особенности разработки наукоёмкого программного обеспечения

1. **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ** (четкая постановка задачи, описание метода решения задачи)
   1. Назначение системы
   2. Требования к системе
2. **АРХИТЕКТУРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**
   1. Схема
   2. Детальная схема системы
3. **ТЕСТИРОВАНИЕ** (прикладная интерпретация и иллюстрация полученных результатов исследования)
4. **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ** (прикладная интерпретация и иллюстрация полученных результатов исследования)
   1. Постановка тестовых задач
   2. Результаты расчетов
5. **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ**
6. **ОБСУЖДЕНИЕ**
7. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ** (заключение, включающее обобщение и указание области применения полученных результатов, не повторяющее аннотацию и не ограничивающееся простым перечислением того, что сделано в работе)