



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Робототехники и комплексной автоматизации»

КАФЕДРА «Системы автоматизированного проектирования (РК-6)»

## РАСЧЁТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту

по дисциплине «Методы оптимизации»

на тему

«Разработка процедуры обхода при реализации графоориентированного  
подхода»

Студент РК6-71Б  
группа

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Тришин И.В.  
ФИО

Руководитель КП

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Соколов А.П.  
ФИО

Москва, 2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой РК-6  
индекс

\_\_\_\_\_ А.П. Карпенко

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

## ЗАДАНИЕ

### на выполнение курсового проекта

Студент группы: РК6-71Б

Тришин Илья Вадимович

\_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

Тема курсового проекта : Разработка процедуры обхода при реализации графоориентированного подхода

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР): кафедра

Тема курсового проекта утверждена на заседании кафедры «Системы автоматизированного проектирования (РК-6)», Протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

#### Техническое задание

**Часть 1.** Аналитический обзор литературы.

*Более подробная формулировка задания. Следует сформировать, исходя из исходной постановки задачи, предоставленной руководителем изначально. Формулировка включает краткое перечисление подзадач, которые требовалось реализовать, включая, например: анализ существующих методов решения, выбор технологий разработки, обоснование актуальности тематики и др. Например: «В рамках аналитического обзора литературы должны быть изучены вычислительные методы, применяемые для решения задач кластеризации больших массивов данных. Должна быть обоснована актуальность исследований.»*

**Часть 2.** Математическая постановка задачи, разработка архитектуры программной реализации, программная реализация.

*Более подробная формулировка задания. В зависимости от поставленной задачи: а) общая тема части может отличаться от работы к работе (например, может быть просто «Математическая постановка задачи» или «Архитектура программной реализации»), что определяется целесообразностью для конкретной работы; б) содержание задания должно несколько детальнее раскрывать заголовок. Например: «Должна быть создана*

математическая модель распространения вирусной инфекции и представлена в форме системы дифференциальных уравнений».

**Часть 3.** Проведение вычислительных экспериментов, отладка и тестирование.

Более подробная формулировка задания. Должна быть представлена некоторая конкретизация: какие вычислительные эксперименты требовалось реализовать, какие тесты требовалось провести для проверки работоспособности разработанных программных решений. Формулировка задания должна включать некоторую конкретику, например: какими средствами требовалось пользоваться для проведения расчетов и/или вычислительных экспериментов. Например: «Вычислительные эксперименты должны быть проведены с использованием разработанного в рамках ВКР программного обеспечения».

### Оформление курсового проекта :

Расчетно-пояснительная записка на 15 листах формата А4.

Перечень графического (иллюстративного) материала (чертежи, плакаты, слайды и т.п.):

количество: 4 рис., 0 табл., 7 источн.
[здесь следует ввести количество чертежей, плакатов]

Дата выдачи задания «07» октября 2021 г.

Студент

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Тришин И.В.  
ФИО

Руководитель курсового проекта

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Соколов А.П.  
ФИО

Примечание: Задание оформляется в двух экземплярах: один выдается студенту, второй хранится на кафедре.

а-  
м-  
р-  
и  
ы  
р-  
а,  
о-  
ю

а-  
м-  
р-  
и  
ы  
р-  
а,  
о-  
ю

а-  
м-  
р-  
и  
ы  
р-  
а,  
о-  
ю

а-  
м-  
р-  
и  
ы  
р-  
а,  
о-  
ю

а-  
м-  
р-  
и  
ы  
р-  
а,  
о-  
ю

а-  
м-  
р-  
и  
ы  
р-  
а,  
о-  
ю

а-  
м-  
р-  
и  
ы  
р-  
а,  
о-  
ю

а-  
м-  
р-  
и  
ы  
р-  
а,  
о-  
ю

а-  
м-  
р-  
и  
ы  
р-  
а,  
о-  
ю

а-  
м-  
р-  
и  
ы  
р-  
а,  
о-  
ю

## СОКРАЩЕНИЯ

**GBSE** Graph-base Software Engineering. 8

**ПО** Программное обеспечение. 7

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>СОКРАЩЕНИЯ</b> .....	5
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	7
<b>1. Постановка задачи</b> .....	9
1.1. Концептуальная постановка задачи .....	9
<b>2. Вычислительный метод</b> .....	12
<b>3. Архитектура программной реализации</b> .....	13
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	14
<b>Литература</b> .....	15

## ВВЕДЕНИЕ

Современные научно-технические исследования зачастую включают в себя задачи, решения которых требуют большого количества вычислений. Для упрощения процесса решения используется или разрабатывается различное программное обеспечение (ПО). Например, могут применяться программные средства, предоставляющие универсальный базовый математический аппарат (MathCAD, Maple, Mathematica и т.п.). Как правило, подобные программные продукты предоставляют некоторый формальный язык описания математических выражений или редактор формул. Преимущества и недостатки множества подобных программ освещены в [1].

При всех преимуществах применения подобных программ при решении сложных вычислительных задач за пользователем остаётся необходимость формулировать их математические постановки (т.е. формировать математические модели, составлять системы уравнений и т.д.). Зачастую требуется решать множество задач с схожей постановкой, но с различными входными параметрами (как, например, при анализе прочностных характеристик технических объектов). Становится целесообразным разработать автоматизированные средства решения подобных типовых задач. При этом от разработчика требуются глубокие познания в предметной области задачи. Возникает потребность в некоторой промежуточной системе, позволяющей формально поэтапно описать метод решения некоторой задачи для удобства его последующей реализации. В данной работе внимание сосредоточено на подобных системах.

С точки зрения разработки ПО, при описании некоторого вычислительного метода целесообразно выделить в нём отдельные этапы, отдельные операции обработки данных. Каждой такой операции требуются входные данные. По завершении выполнения операции получают выходные данные. При этом выходные данные одной операции могут являться входными для одной или нескольких других операций. Между ними формируются зависимости по входным и выходным данным. Для учёта этих зависимостей возникает необходимость правильным образом организовать выполнение операций в пределах отдельно взятого метода.

В наши дни популярность приобретает применение научных систем организации рабочего процесса (англ. scientific workflow systems). Такие системы позволяют автоматизировать процессы решения научно-технических задач, предоставляя средства организации и управления вычислительными процессами [2]. Процесс работы с подобными системами состоит из 4 основных этапов:

1. составление описания операций обработки данных и зависимостей между ними;
2. распределение процессов обработки данных по вычислительным ресурсам;
3. выполнение обработки данных;
4. сбор и анализ результатов и статистики.

Примерами подобных систем могут служить Pegasus[3], Kepler[4] и pSeven[5].

Одной из ключевых особенностей подобного подхода к реализации решений научно-технических задач является выделение операций обработки данных в отдельные программные модули (функции, подпрограммы, скрипты). При известных входных и выходных данных каждого модуля становится возможной их независимая разработка[6]. Это позволяет распределить их разработку между несколькими людьми. Вследствие этого уменьшается объём работы по написанию исходных кодов, приходящийся на одного исследователя. Это в свою очередь облегчает отладку и написание документации, что положительно сказывается на общем качестве реализуемого ПО.

В основном, в научных системах организации рабочего процесса для описания связей между отдельными операциями обработки данных используются ориентированные графы. Помимо описания связей между вычислительными процессами ориентированные графы также находят применение при планировании деятельности (сетевые графики, граф-схемы). В научно-технической среде большее распространение получили сети Петри, диаграммы потоков данных (DFD) и диаграммы перехода состояний. В данной работе основное внимание отводится т.н. “графоориентированному подходу”(GBSE)[7] и его реализации.



# 1 Постановка задачи

## 1.1 Концептуальная постановка задачи

Методология GBSE подразумевает параллельное исполнение рёбер графа, выходящих из одной вершины. На рисунке 1 после выполнения рёбер  $F_{12}$  и  $F_{13}$  будет получено два независимых состояния данных  $S_2$  и  $S_3$  соответственно. Далее возникает задача правильным образом перевести данные из этих состояний в общее состояние  $S_4$ .

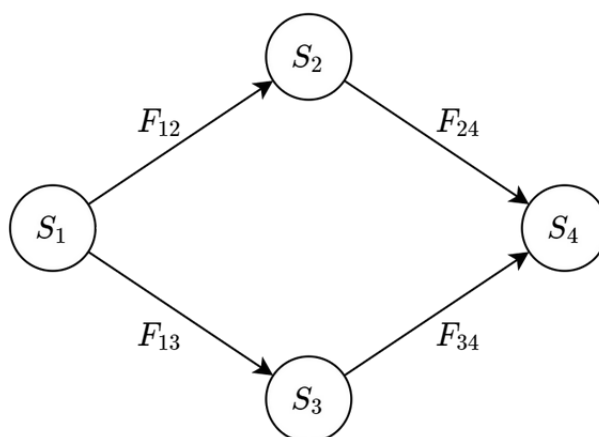


Рисунок 1. Пример графовой модели, требующей параллельного исполнения

Данный подход значительно увеличивает эффективность использования ресурсов вычислительной системы и ускоряет процесс решения, однако добавляет некоторые второстепенные задачи при разработке. Так в примере на рисунке 1 рёбра  $F_{12}$  и  $F_{13}$  выполнялись параллельно, а значит полученные в результате их выполнения данные существуют в самом общем случае в различных адресных пространствах оперативной памяти (возможно даже на двух разных вычислительных машинах). В момент разветвления графа должно происходить корректное предоставление вычислительным ресурсам (потокам, процессам, узлам кластера и т.п.) доступа к обрабатываемым данным. Помимо этого алгоритм обхода графовой модели должен корректно отрабатывать слияние ветвей графа и в частности при необходимости выполнять сбор данных.

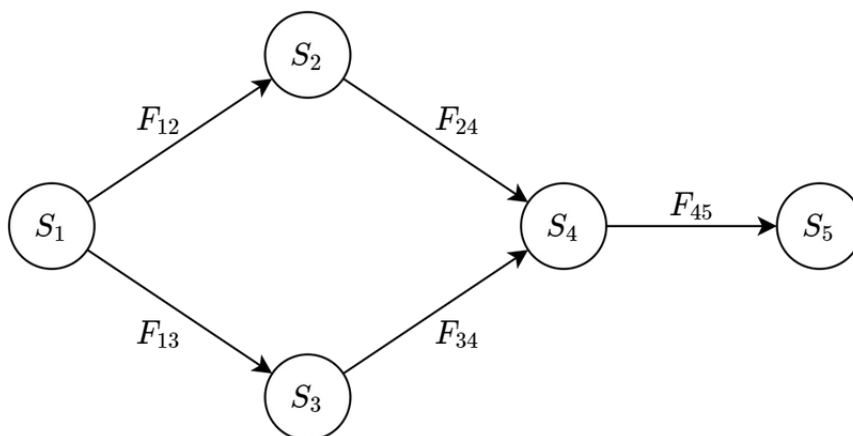


Рисунок 2. Пример графовой модели с совмещением ветвей

На рисунке 2 ветви  $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_4$  и  $S_1 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4$  выполняются с использованием различных вычислительных ресурсов, но ребро  $F_{45}$  выполняется в пределах одной «общей» ветви графа, и в момент его выполнения ресурсы, выделенные на выполнение двух параллельных ветвей уже не требуются. Таким образом, целесообразно разработать управляющую структуру, которая бы отвечала за выделение и освобождение вычислительных ресурсов во время работы с несколькими параллельными ветвями графа.

Кроме того, разрабатываемая архитектура должна поддерживать несколько вариантов параллельного исполнения. Среди прочих желательна поддержка:

- поочерёдного выполнения (в первую очередь для отладки) в одном потоке управления;
- выполнения с использованием нескольких процессов операционной системы;
- выполнения с использованием нескольких потоков процессора;
- выполнения на удалённых узлах (через SSH-соединение).

Таким образом целесообразна поддержка единого интерфейса обозначенной управляющей структуры для разных режимов выполнения (последовательный, параллельный, распределённый и пр.).

В случае, когда параллельного выполнения не требуется, процедура обхода заметно упрощается. Описание её алгоритма для такого случая представлено на рисунке 3.

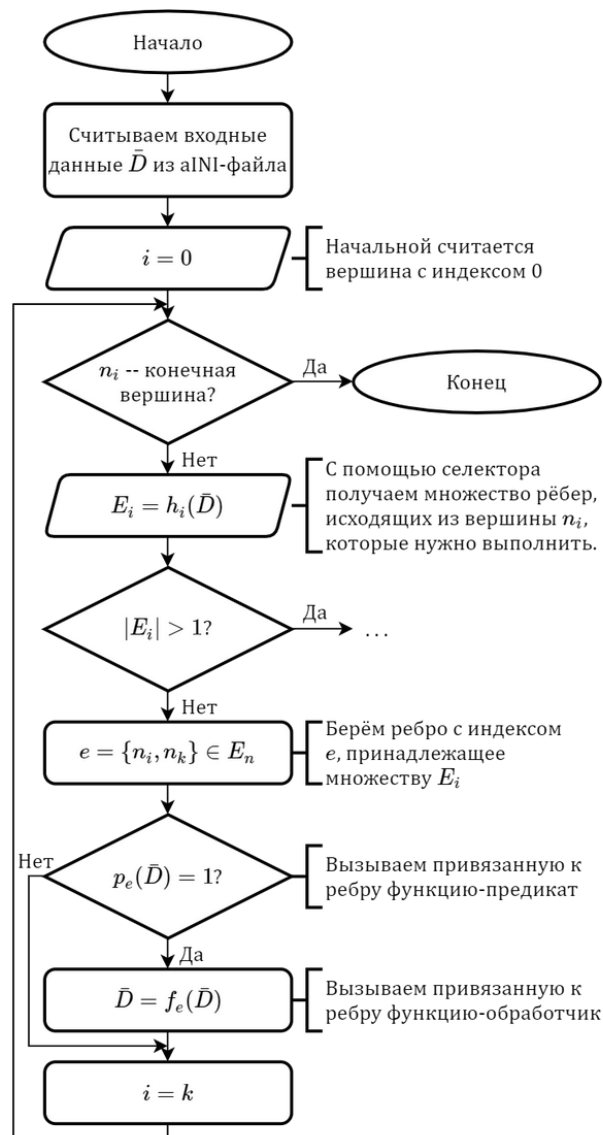


Рисунок 3. Блок-схема алгоритма обхода графовой модели, не предполагающей параллельное исполнение

## 2 Вычислительный метод

В разделе следует представить описание применяемого (планируемого к применению) вычислительного метода. Метод следует описывать с использованием математически строгих формулировок, не допускающих неоднозначности прочтения.

Обязательность представления: раздел представляется в зависимости от поставленной задачи. Объём: около 5 страниц.

### 3 Архитектура программной реализации

Для описанной в разделе 1.1 управляющей структуры была описана логика работы, представленная на рисунке 4.

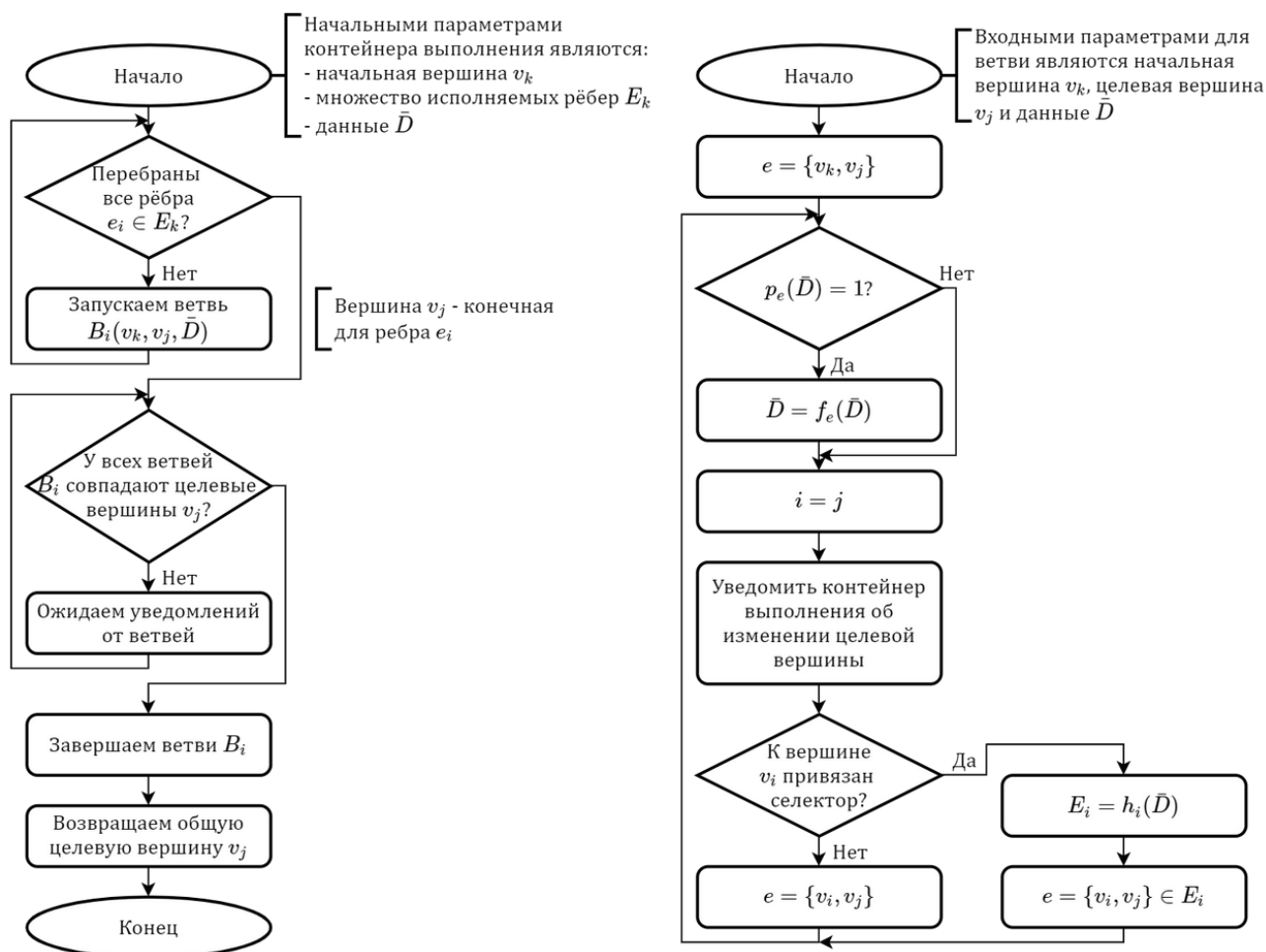


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма отслеживания параллельного исполнения ветвей графа

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной работе были изучены различные автоматизированные системы, упрощающие проведение научно-технических исследований и решение возникающих в их ходе задач. Были рассмотрены подходы к организации процессов обработки данных в рассмотренных системах. Среди прочего, был изучен т.н. «графоориентированный подход» и принципы обхода графовых моделей в нём. Для данного подхода был разработан алгоритм обхода, дающий возможность параллельного выполнения независимых процессов обработки. Помимо этого были разработаны структуры данных для сопровождения данного алгоритма в рамках реализации обозначенного подхода в библиотеке comsdk на языке C++.

## Список использованных источников

- 1 List of computer algebra systems [Электронный ресурс]. 2022. Дата обращения: 27.03.2022. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_computer\\_algebra\\_systems](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_computer_algebra_systems).
- 2 Workflows and e-Science: An overview of workflow system features and capabilities / D. E., G. D., S. M. et al. // Future Generation Computer Systems. 2009. Vol. 25, no. 5. P. 528 – 540.
- 3 Pegasus in the cloud: Science automation through workflow technologies / Deelman E., Vahi K., Rynge M. [и др.] // IEEE Internet Computing. 2016. Т. 20, № 1. С. 70 – 76.
- 4 Kepler: An extensible system for design and execution of scientific workflows / Altintas I., Berkley C., Jaeger E. [и др.]. Т. 16. 2004. С. 423 – 424.
- 5 Alexey M. Nazarenko Alexander A. Prokhorov. Hierarchical Dataflow Model with Automated File Management for Engineering and Scientific Applications // Procedia Computer Science. 2015. Т. 66. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915034055?pes=vor>.
- 6 Данилов А.М., Лапшин Э.В., Беликов Г.Г., Лебедев В.Б. Методологические принципы организации многопоточковой обработки данных с распараллеливанием вычислительных процессов // Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки. 2001. № 4. С. 26–34.
- 7 Соколов А.П. Першин А.Ю. Графоориентированный программный каркас для реализации сложных вычислительных методов // Программирование. 2018. № X.

## Выходные данные

Тришин И.В.. Разработка процедуры обхода при реализации графоориентированного подхода по дисциплине «Методы оптимизации». [Электронный ресурс] — Москва: 2021. — 15 с. URL: <https://sa2systems.ru:88> (система контроля версий кафедры РК6)

Постановка:



канд. физ.-мат. наук, Соколов А.П.

Решение и верстка:



студент группы РК6-71Б, Тришин И.В.

2021, осенний семестр