



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)»

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЗАМЕТКИ  
по направлению «Разработка систем инженерного анализа и  
ресурсоемкого ПО (rndhpc)»

Авторы (исследователи):	Крехтунова Д., Ершов В., Муха В., Тришин И.
Научный(е) руководитель(и):	Соколов А.П., Першин А.Ю.
Консультанты:	@Фамилия И.О.@

Москва, 2021–2021

Работа (документирование) над научным направлением начата 20 сентября 2021 г.

**Руководители по направлению:**

СОКОЛОВ,	–	канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры САПР,
Александр Павлович		МГТУ им. Н.Э. Баумана
ПЕРШИН,	–	PhD, ассистент кафедры САПР,
Антон Юрьевич		МГТУ им. Н.Э. Баумана

**Исследователи (студенты кафедры САПР, МГТУ им. Н.Э. Баумана):**

Крехтунова Д., Ершов В., Муха В., Тришин И.

C59      **Крехтунова Д., Ершов В., Муха В., Тришин И.. Разработка систем инженерного анализа и ресурсоемкого ПО (rndhpc):** Научно-исследовательские заметки. / Под редакцией Соколова А.П. [Электронный ресурс] — Москва: 2021. — 13 с. URL: <https://arch.rk6.bmstu.ru> (облачный сервис кафедры РК6)

Документ содержит краткие материалы, формируемые обучающимися и исследователями в процессе их работ по одному научному направлению.

Документ разработан для оценки результативности проведения научных исследований по направлению «Разработка систем инженерного анализа и ресурсоемкого ПО» в рамках реализации курсовых работ, курсовых проектов, выпускных квалификационных работ бакалавров и магистров, а также диссертационных исследований аспирантов кафедры «Системы автоматизированного проектирования» (РК6) МГТУ им. Н.Э. Баумана.

RNDHPC



Крехтунова Д., Ершов В., Муха В., Тришин И.,  
Соколов А.П., Першин А.Ю., 2021

## Содержание

<b>1</b>	<b>Разработка графоориентированного дебаггера</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Разработка web-ориентированного редактора графовых моделей</b>	<b>4</b>
	2021.10.05: Обзор языка описания графов DOT . . . . .	4
	2021.04.12: Краткое описание алгоритма визуализации графа . . . . .	5
	2021.05.12: Описание текущего состояния проекта . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Реализация поддержки различных стратегий распараллеливания в рамках графоориентированного программного каркаса</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Реализация графоориентированной технологии определения бизнес-логики работы пользователя в системе</b>	<b>13</b>

- 1 Разработка графоориентированного дебаггера
- 2 Разработка web-ориентированного редактора графовых моделей

## 2021.10.05: Обзор языка описания графов DOT

Язык описания графов DOT предоставляется пакетом утилит Graphviz (Graph Visualization Software). Пакет состоит из набора утилит командной строки и программ с графическим интерфейсом, способных обрабатывать файлы на языке DOT, а также из виджетов и библиотек, облегчающих создание графов и программ для построения графов. Более подробно будет рассмотрена утилита dot.

dot - инструмент для создания многоуровневого графа с возможностью вывода изображения полученного графа в различных форматах (PNG, PDF, PostScript, SVG и др.).

Установка graphviz

Linux: `sudo apt install graphviz`

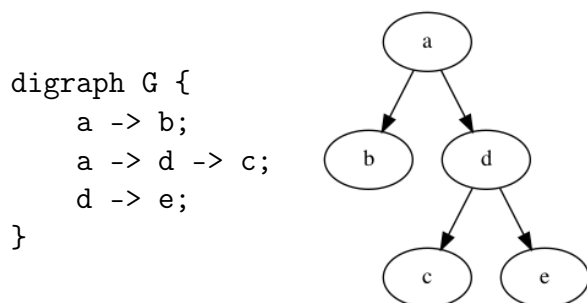
MacOS: `brew install graphviz`

Вызов всех программ Graphviz осуществляется через командную строку, в процессе ознакомления с языком использовалась следующая команда

```
dot -Tpng <pathToDotFile> -o <imageName>
```

В результате выполнения этой команды будет создано изображение графа в формате png

Пример описания простого графа



Более подробная информация с примерами представлена в обзоре литературы, который находится по следующему пути:

01 - Курсовые проекты/2021-2022 - Разработка web-ориентированного редактора графовых моделей /0 - Обзор литературы/

## 2021.04.12: Краткое описание алгоритма визуализации графа

В ходе разработки web-ориентированного редактора графов, который позволяет импортировать и экспортировать файлы в формате был разработан алгоритм визуализации графов. В этой заметке будет полностью рассмотрен алгоритм и приведено несколько примеров aDOT файлов, которые полностью корректно визуализируются в приложении.

Один из самых важных критериев построенного графа - это его читаемость. Граф должен быть построен корректно и недопускать неоднозначностей при его чтении. Например, вершины не должны налегать друг на друга, ребра не должны пересекаться, создавая сложные для восприятия связи.

Проведя длительную аналитическую работу, было принято решение разбивать граф по уровням. Допустим, мы имеем следующее описание графовой модели на языке aDOT:

```
__BEGIN__ -> s1
s4 -> s6 [morphism=edge_1]
s5 -> s6 [morphism=edge_1]
s1 => s2 [morphism=edge_1]
s1 => s3 [morphism=edge_1]
s2 -> s4 [morphism=edge_1]
s3 -> s5 [morphism=edge_1]
s6 -> __END__
```

Если нарисовать такой граф на бумаге, то становится очевидно, что каждый набор вершин имеет одну координату по оси X, а связанные с ними вершины находятся правее по координате X, таким образом напрашивается разбиение графа по уровням. На рисунке (1) представлен этот граф, разбитый на уровни.

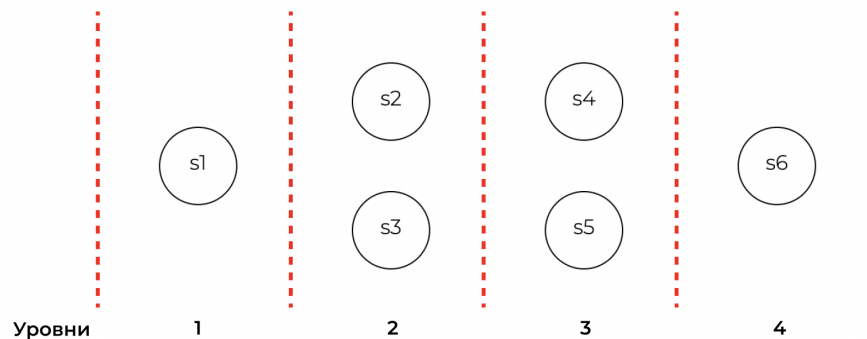


Рис. 1. Уровни графа

Разбиение графа по уровням является основой алгоритма визуализации, далее на примере более сложного графа поэтапно разберем алгоритм.

Допустим, мы имеем следующий файл на языке aDOT:

```
digraph TEST
{
// Parallelism
s11 [parallelism=threading]
s4 [parallelism=threading]
s12 [parallelism=threading]
s15 [parallelism=threading]
s2 [parallelism=threading]
s8 [parallelism=threading]
// Functions
f1 [module=DEFAULT_VALUE, entry_func=DEFAULT_VALUE]
// Predicates
p1 [module=DEFAULT_VALUE, entry_func=DEFAULT_VALUE]
// Edges
edge_1 [predicate=p1, function=f1]
// Graph model description
__BEGIN__ -> s1
s6 -> s8 [morphism=edge_1]
s7 -> s8 [morphism=edge_1]
s10 -> s8 [morphism=edge_1]
s11 => s8 [morphism=edge_1]
s11 => s9 [morphism=edge_1]
s14 -> s9 [morphism=edge_1]
s3 -> s9 [morphism=edge_1]
s4 => s6 [morphism=edge_1]
s4 => s7 [morphism=edge_1]
s4 => s10 [morphism=edge_1]
s4 => s11 [morphism=edge_1]
s12 => s4 [morphism=edge_1]
s12 => s14 [morphism=edge_1]
s13 -> s3 [morphism=edge_1]
s15 => s14 [morphism=edge_1]
s15 => s14 [morphism=edge_1]
s2 => s12 [morphism=edge_1]
s2 => s13 [morphism=edge_1]
s2 => s15 [morphism=edge_1]
s1 -> s2 [morphism=edge_1]
s8 => s9 [morphism=edge_1]
s8 => s6 [morphism=edge_1]
s9 -> __END__
```

}

В результате визуализации будет получен граф представленный на рисунке (2)

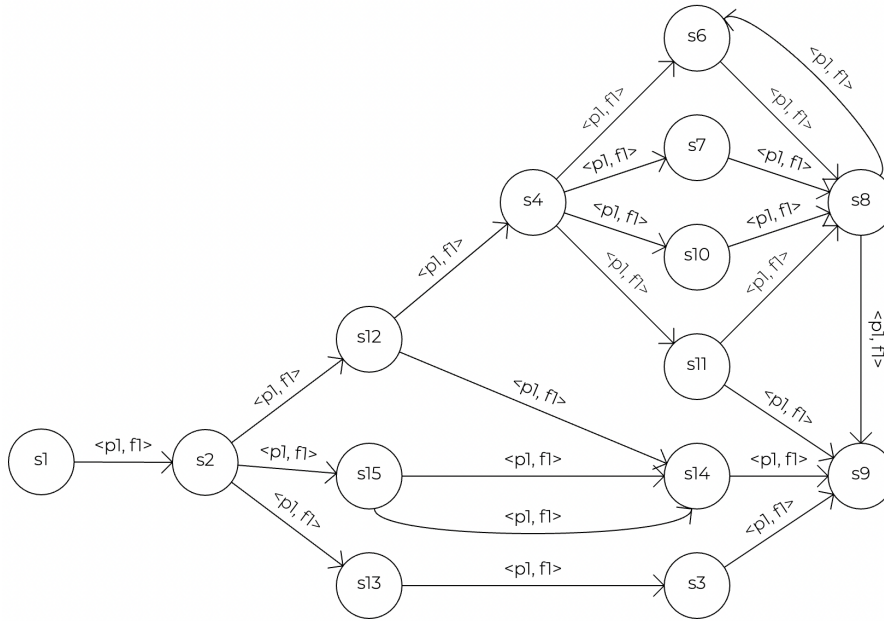


Рис. 2. Граф рассматриваемый в качестве примера

Основная задача алгоритма - это отрисовать вершины графа в корректных позициях, а затем построить между ними ребра. Поскольку редактор графов - это web-ориентированное приложение, то вся бизнес-логика написана на языке JavaScript. В JavaScript имеется очень удобный инструмент - объекты. Аналогами объектов в других языках программирования являются хэш-карты, но в Javascript возможности использования объектов гораздо шире. Всю информацию об уровнях графа будем хранить в объекте levels, ниже представлено как выглядит объект levels для рассматриваемого выше графа:

```

{
  "1": [{"s1": []}],
  "2": [{"s2": ["s1"]}],
  "3": [{"s12": ["s2"]}, {"s13": ["s2"]}, {"s15": ["s2"]}],
  "4": [{"s4": ["s12"]}],
  "5": [{"s9": ["s14", "s3"]}, {"s6": ["s4"]}, {"s7": ["s4"]}, {"s10": ["s4"]}, {"s11": ["s4"]}, {"s14": ["s12", "s15"]}, {"s3": ["s13"]}],
  "6": [{"s8": ["s6", "s7", "s10", "s11"]}, {"s9": ["s11", "s14", "s3"]}
}

```

Ключами объекта `levels` являются номера уровней, представленные в формате `string`. Свойствами являются массивы, на один уровень - один массив. Каждый элемент массива содержит информацию об одной вершине на этом уровне, следовательно количество вершин на уровне - это размер массива. Далее заметим, что элемент массива это не просто `string` с названием вершины, а объект. Этот объект содержит один ключ - название вершины на этом уровне, а свойством является массив, который содержит список вершин из которых перешли в эту вершину (переход только по одному ребру).

В качестве примера рассмотрим уровень "5" объекта `levels`, который был представлен ранее.

```
{
  "5": [{ "s9": ["s14", "s3"] }, { "s6": ["s4"] }, { "s7": ["s4"] },
        { "s10": ["s4"] }, { "s11": ["s4"] }, { "s14": ["s12", "s15"] }, { "s3": ["s13"] } ],
}
```

На уровне №5 в графе, находится 7 вершин: "s9", "s6", "s7", "s10", "s11", "s14", "s3". Например, в вершину "s6" мы пришли из вершины "s4", таким образом, по ключу "s6" находится массив с один элементом "s4"

```
{ "s6": [ "s4" ] }
```

На рисунке (3) представлен граф с выделенным уровнем №5

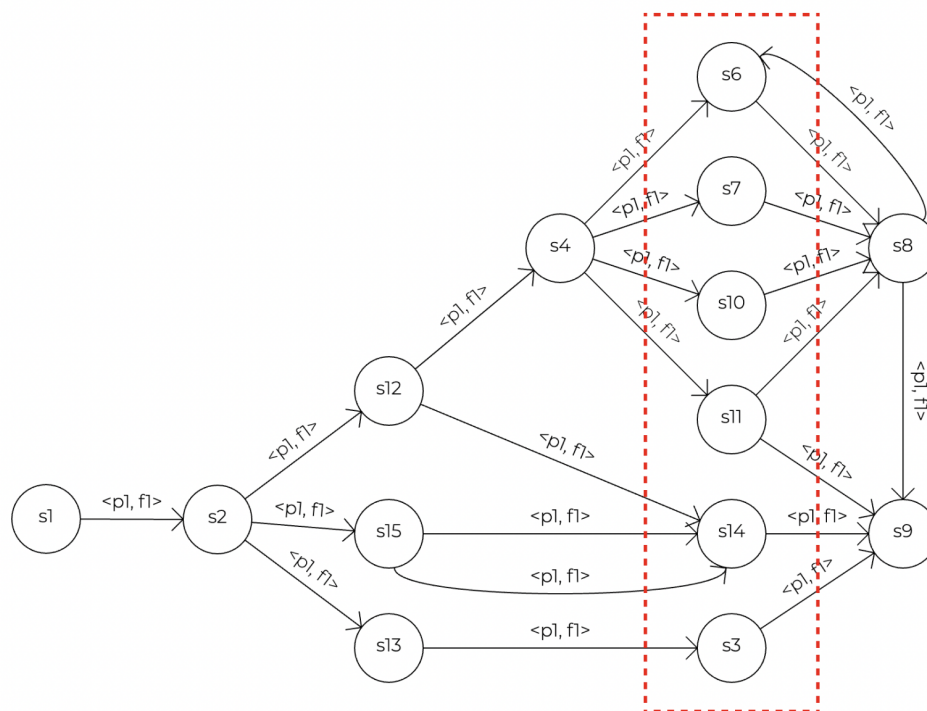


Рис. 3. Уровень №5 на графе

Обратим внимание на то, что в объекте `levels` для уровня №5 содержится вершина `s9` которой нет на уровне №5, а она присутствует только на уровне №6. Заполнение



объекта levels происходит слево-направо, то есть от меньшего уровня к большему, например, в графе представленном выше есть связь  $s_{13} \rightarrow s_3$ , таким образом пока в объект levels не будет записана вершина  $s_{13}$ , мы не сможем записать связанную с ней вершину  $s_3$ .

Обратным образом происходит дублирование вершин, если обратиться к описанию графовой модели представленной выше, то можно заметить такую связь:  $s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow s_{13} \rightarrow s_3 \rightarrow s_9$ . При начальной инициализации объекта levels  $s_1$  будет находиться на уровне 1,  $s_2$  будет находиться на уровне 2 и так далее. Таким образом, вершина  $s_3$  будет находиться на уровне 4, что не совсем корректно. Обработка таких ситуаций является углублением в реализацию алгоритма и в этой заметке не будет подробно описываться.

Для разрешения подобных коллизий после начальной инициализации объекта levels “в лоб” предусмотрено множество дополнительных проверок. Таким образом, на выходе мы получаем корректно сформированный объект levels и дополнительно формируем объект, который будет хранить информацию о вершинах которые находятся не на своем уровне, эти вершины не будут отрисовываться, но при этом они будут учитываться при выравнивании связанных с ними вершин, следовательно просто удалить такие вершины из объекта levels нельзя.

Сама визуализация вершин после формирования объекта levels также является темой отдельной заметки. На данном этапе работы над проектом сначала строится уровень содержащий наибольшее количество вершин, затем строятся оставшиеся уровни: сначала влево до уровня №1, затем вправо до самого последнего уровня.

## 2021.05.12: Описание текущего состояния проекта

В данной заметке описаны все основные пользовательские сценарии web-ориентированного редактора графов на состояние от 2021.12.05. Для каждого сценария составлен следующий список:

- Реализованные возможности сценария
- Сложности, возникшие при реализации сценария
- Будущий функционал, который расширит user experience

Основные сценарии приложения:

- Создание графа в приложении путем добавления вершин и ребер между ними
- Экспортирование графа в файл на языке описания графов aDOT
- Импортирование графа из файла на языке описания графов aDOT

### Добавление вершины

Для добавления вершины необходимо выбрать соответствующий пункт в меню, а затем кликнуть на холст. После этого потребуется уточнить название вершины, после



Рис. 4. Создание вершины

ввода названия вершины построение будет полностью завершено. Процесс построения вершины представлен на рисунке 4.

Дополнительный функционал сценария:

- Блокировка создания вершины если она находится в близости к другой вершине
- Блокировка создания названия вершины, если такое название присвоено существующей вершине

Сложности при реализации сценария:

- Валидировать все необходимые параметры в процессе создания вершины: положение вершины, название вершины
- Выбор информации о вершине, которую нужно сохранить в оперативной памяти для дальнейшего использования в других сценариях

Будущее расширение функционала сценария:

- Возможность изменить положение вершины в процессе ее создания. На данный момент вершина создается в месте клика на холст (в том случае если местоположение вершины валидно) и это местоположение уже никак нельзя изменить.
- Использование набора горячих клавиш для ускорения процесса создания вершины

- При названии подсказать пользователю название вершины, в том случае если прошлые названия имеют инкрементирующийся для каждой вершины постфикс, например, уже созданы вершины  $s_1$ ,  $s_2$ , при создании новой вершины в поле ввода названия система предложит пользователю название  $s_3$ .

### Добавление ребра

Для добавления ребра необходимо поочередно выбрать две вершины, которые будут соединены ребром. Затем система потребует ввода предиката и функции, в том случае если введенный предикат или функция являются уникальными в рамках графа, то система потребует ввода информации о module и entry func. После этого построение ребра будет завершено. Процесс построения ребра представлен на рисунке 5.

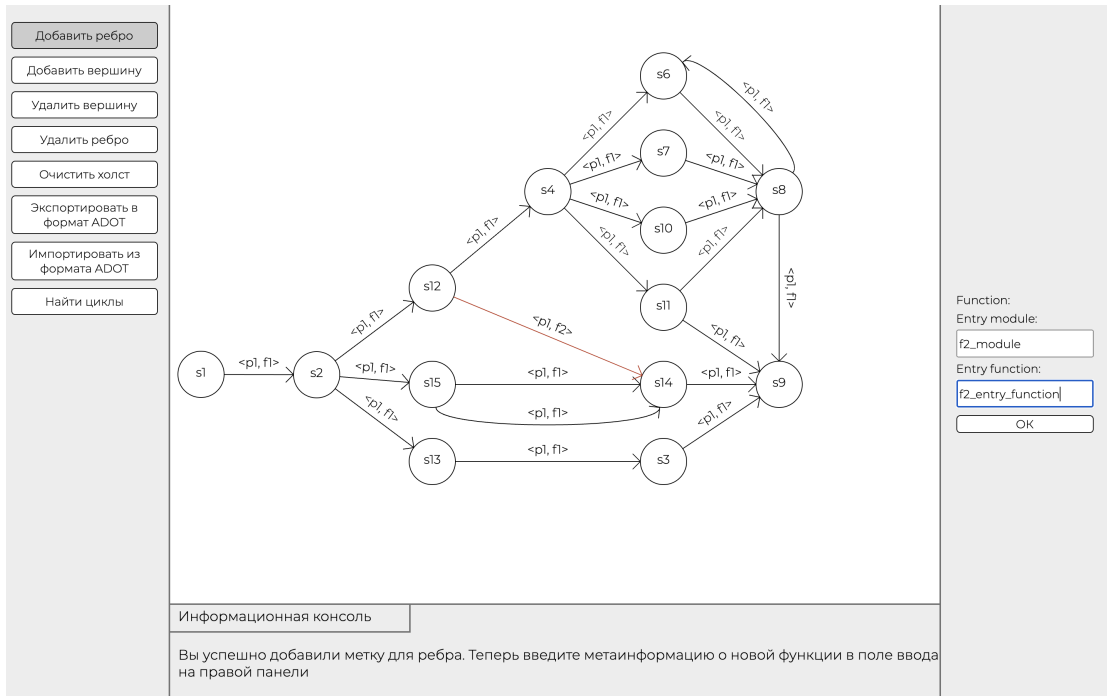


Рис. 5. Создание ребра

Дополнительный функционал сценария:

- Блокировка создания ребра из вершины в нее же саму.
- Если между вершинами уже существуют ребра, то система построит ребро, используя кривые Безье.
- Если на момент построения ребра из вершины выходит только одно ребро, то система потребует уточнения типа параллелизма (формат aDOT).
- Если предикат или функция не являются уникальными в рамках графа, то не требуется уточнение информации о module и entry func.

Сложности при реализации сценария:

- Использование множества вспомогательных функций: подсчет количества ребер между вершинами, для определения типа построения ребра (прямое или кривые Безье), подсчет количества ребер выходящих из вершины для уточнения типа параллелизма, проверка полей ввода предиката и функции (предикат может быть неопределен, а функция должна быть определена), проверка введенных предиката и функции на уникальность в рамках графа.
- Выбор типа построения ребра: прямое, кривые Безье. Обработка ситуации, когда пользователь создает цикл между этими вершинами.

Будущее расширение функционала сценария:

- Возможность перевыбора вершин для построения ребра между ними. На данный момент нельзя допустить ошибку при выборе вершин, необходимо закончить процесс построения ребра, удалить его и создать новое, выбрав другие вершины.
- Алгоритм для построения ребра с использованием кривых Безье. На данный момент ребро строится с помощью одной кривой Безье, что не позволяет строить ребра более сложного вида, тем самым разрешая коллизии, когда ребро проходит через другие вершины.

### **Удаление вершины**

Для удаления вершины необходимо выбрать соответствующий пункт в меню, а затем кликнуть на вершину для удаления - вершина удаляется с холста вместе со всеми связанными с ней ребрами.

Сложности при реализации сценария:

- Корректно удалить все связанные с вершиной ребра, а затем удалить информацию об этих ребрах и связанных вершин.

Будущее расширение функционала сценария:

- Возможность одновременного выбора нескольких вершин для удаления.
- Возможность откатить действия в том случае если была удалена лишняя вершина. В целом это касается всего приложения, на данный момент любое действие неотвратимо.

### **Удаление ребра**

Для удаления ребра необходимо выбрать соответствующий пункт в меню, а затем кликнуть на ребро для удаления - ребро удаляется с холста.

Сложности при реализации сценария:

- Удалить информацию о ребре из связанных этим ребром вершин.

Будущее расширение функционала сценария:

- Более корректный выбор ребра, на данный момент надо кликать ровно на ребро поскольку для перехвата события клика используется `event.target.closest`
- Возможность одновременного выбора нескольких ребер для удаления

#### **Экспорт в формат aDOT**

Для экспорта в формат aDOT необходимо выбрать соответствующий пункт в меню, а затем поочередно выбрать две вершины, которые будут являться стартовой и конечной вершиной соответственно. Затем сформируется текстовый файл с описанием графа в формате aDOT и автоматически начнется его загрузка.

#### **Импорт из формата aDOT**

Для импорта из формата aDOT необходимо выбрать соответствующий пункт в меню, а затем выбрать файл для импорта. Далее система сама построит граф, сохранив всю необходимую информацию.

Сложности при реализации сценария:

- Разработка алгоритма визуализации

Будущее расширение функционала сценария:

- Разработка более гибкого алгоритма визуализации, который сможет работать с более сложными графами.

### **3 Реализация поддержки различных стратегий распараллеливания в рамках графоориентированного программного каркаса**

### **4 Реализация графоориентированной технологии определения бизнес-логики работы пользователя в системе**