

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Физико-механический институт

Работа допущена к защите
Руководитель ОП
_____ К.Н. Козлов
« _____ » _____ 202_ г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА

РАЗРАБОТКА ЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СХОДИМОСТИ МЕТОДА ХРВД В ЗАДАЧЕ СИМУЛЯЦИИ ТКАНИ

по направлению подготовки 01.04.02 Наименование направления подготовки
Направленность (профиль) 01.04.02_02 Математические методы анализа и визуализации данных

Выполнил
студент гр. 5040102/30201

В.А. Парусов

Руководитель
доцент ВШПМиВФ,
К.Ф.-М.Н, доцент

С.Ю. Беляев

Консультант
К.Ф.-М.Н, ВШПМиВФ

В.С. Чуканов

Консультант
ведущий программист компании "Saber Interactive"

А.А. Васильев

Консультант
по нормоконтролю

Л.А. Арефьева

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПЕТРА ВЕЛИКОГО
Физико-механический институт**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОП

_____ К.Н. Козлов

« _____ » _____ 202_ г.

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

студенту Парусову Владимиру Алексеевичу гр. 5040102/30201

1. Тема работы: Разработка эвристического алгоритма для улучшения сходимости метода XPBD в задаче симуляции ткани.
2. Срок сдачи студентом законченной работы: 10.06.2025.
3. Исходные данные по работе:
 - Система для вывода трёхмерных сцен, реализованная при помощи набора программных модулей и библиотек DirectX12 на языке C++ [3.0].
 - Инструментальные средства:
 - языки программирования C++, Python
 - среда разработки Visual Studio 2022
 - программная библиотека для работы с видеокартой DirectX 12
 - система контроля версий git
- 3.0. *Macklin M., Müller M., Chentanez N.* XPBD: position-based simulation of compliant constrained dynamics // Proceedings of the 9th International Conference on Motion in Games. — 2016. — С. 49—54.
- 3.0. Position based dynamics / M. Müller [и др.] // Journal of Visual Communication and Image Representation. — 2007. — Т. 18, № 2. — С. 109—118.
- 3.0. *Парусов В. А.* Оптимизация количества вызовов отрисовки в современных графических системах: выпускная квалификационная работа бакалавра: направление 01.03. 02 «Прикладная математика и информатика»; обра-

зовательная программа 01.03. 02_02 «Системное программирование». — 2023.

4. Содержание работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

4.1. Введение. Обоснование актуальности

4.2. Постановка задачи

4.3. Обзор существующих решений

4.4. Предлагаемое решение

4.5. Результаты и сравнительный анализ

4.6. Заключение

5. Дата выдачи задания: 08.02.2025.

Руководитель ВКР _____ С.Ю. Беляев

Консультант _____ В.С. Чуканов

Консультант _____ А.А. Васильев

Задание принял к исполнению 08.02.2025

Студент _____ В.А. Парусов

РЕФЕРАТ

На 24 с., 5 рисунков, 5 таблиц, 0 приложений

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: POSITION BASED DYNAMICS, EXTENDED POSITION BASED DYNAMICS, GPU, СИМУЛЯЦИЯ ТКАНИ.

Тема выпускной квалификационной работы: «Разработка эвристического алгоритма для улучшения сходимости метода XPBD в задаче симуляции ткани»

Данная работа посвящена разработке и реализации эвристического алгоритма для улучшения сходимости метода Extended Position Based Dynamics (XPBD) в задаче симуляции ткани. Данный эвристический алгоритм призван стабилизировать результат получаемый в ходе работы метода XPBD в случае резких и сильных изменений положения частиц ткани.

Для демонстрации разработанного алгоритма были созданы демонстрационные сцены, состоящие из различных трехмерных геометрических объектов, а также симулируемых тканей. Весь исходный код проекта написан на языке C++ с применением графической библиотеки DirectX 12. Средством для программирования шейдеров является язык HLSL.

Наиболее значимым результатом является эвристический алгоритм, позволяющий избавиться от чрезмерных колебаний ткани, вызванных недостаточным количеством итераций алгоритма XPBD. В результате данных колебаний, поведение симулируемой ткани выглядит отлично от наблюдаемого в реальной жизни, и больше напоминает поведение резины. В ходе работы был реализован алгоритм XPBD выполняющийся на GPU, а также разработаны различные алгоритмы и методы, позволяющие ускорить работу алгоритма XPBD с учетом особенностей архитектуры GPU.

Предложенный алгоритм может быть использован совместно с существующими системами симуляции тканей для более корректной визуализации в современных графических приложениях.

ABSTRACT

24 pages, 5 figures, 5 tables, 0 appendices

KEYWORDS: POSITION BASED DYNAMICS, EXTENDED POSITION BASED DYNAMICS, GPU, CLOTH SIMULATION.

The subject of the graduate qualification work is «Heuristic algorithm for convergence improvement of XPBD cloth simulation».

This work is devoted to the development and implementation of a heuristic algorithm for improving the convergence of the Extended Position Based Dynamics (XPBD) method in the cloth simulation problem. This heuristic algorithm is designed to stabilize the result obtained during the XPBD method in the case of abrupt and strong changes in the position of cloth particles.

To demonstrate the developed algorithm, demo scenes were created consisting of various three-dimensional geometric objects, as well as simulated cloth. The entire source code of the project is written in C++ using the DirectX 12 graphics library. The shader programming language is HLSL.

The most significant result is a heuristic algorithm that allows you to get rid of excessive cloth vibrations caused by an insufficient number of iterations of the XPBD algorithm. As a result of these vibrations, the behavior of the simulated cloth looks different from that observed in real life, and is more reminiscent of the behavior of rubber. During the work, the XPBD algorithm running on the GPU was implemented, and various algorithms and methods were developed to speed up the XPBD algorithm, taking into account the features of the GPU architecture.

The proposed algorithm can be used together with existing tissue simulation systems for more correct visualization in modern graphics applications.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
Глава 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	9
1.1. Техническое задание	9
1.2. Ожидаемый результат	9
Глава 2. Название второй главы: разработка метода, алгоритма, модели исследования.....	9
2.1. Название параграфа	10
2.2. Название параграфа.....	10
2.2.1. Название подпараграфа	10
2.3. Название параграфа	12
2.4. Выводы	18
Глава 3. Название третьей главы: разработка программного обеспечения..	19
3.1. Название параграфа	19
3.2. Название параграфа	19
3.3. Выводы	19
Глава 4. Название четвёртой главы. Апробация результатов исследования, а именно: метода, алгоритма, модели исследования	19
4.1. Название параграфа	19
4.2. Название параграфа	19
4.3. Выводы	20
Заключение	21
Список использованных источников.....	22

ВВЕДЕНИЕ. ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ

Компьютерная графика, как часть компьютерных наук, существует уже более 70-ти лет и на данный момент содержит в себе множество различных алгоритмов, позволяющих получать фотореалистичные изображения в режиме реального времени. Однако, несмотря на долгую историю, большая часть упомянутых алгоритмов применима только для симуляции и отображения объектов, представляемых как наборы абсолютно твердых тел.

Относительно недавно, был разработан метод PBD[0], позволяющий симулировать взаимодействие мягких тел. Данный метод быстро стал стандартом для симуляции таких объектов как ткани, жидкости, подушки и т.д. Хочется отметить, что данный метод обильно применяется для представления различных органов в системах для подготовки к хирургическим операциям [0]. Вскоре, данный метод PBD получил множество улучшений, главным из которых можно выделить появление метода XPBD[*xpbd*], позволяющего использовать табличные физические величины реального мира для задания параметров симуляции мягких тел.

Однако на практике, даже у тел симулируемых методом XPBD, может наблюдаться неестественное поведение, отличающееся от поведения наблюдаемого в реальном мире. Зачастую, описанное поведение представляет собой периодические перемещения с большой амплитудой различных частей симулируемого тела (рис.0.1), и может достигаться как резким и сильным взаимодействием с телом (например резко подул сильный ветер). Для того, чтобы бороться с такими ситуациями в рамках метода XPBD существует два решения. Первое - поставить условия симуляции таким образом, чтобы подобных взаимодействий не возникало, однако это не всегда возможно. Второе - указывать более высокую точность, что будет требовать больше вычислений и неприемлемо в условиях симуляций реального времени.



Рис.0.1. Пример неестественного растяжения в результате сильного ветра.

Кадры сняты спустя 1, 2 и 3 секунды после запуска симуляции.

В рамках данной работы, была поставлена цель разработать и реализовать эмперический алгоритм, позволяющий бороться с вышеописанной ситуацией, при этом не требуя много больше процессорного времени. Помимо этого была поставлена цель реализации метода XPBD с использованием GPU, и последующее сравнение реализованных алгоритмов с реализацией из библиотеки NVidia Cloth.

ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1.1. Техническое задание

Требуется:

- реализовать алгоритм XPBD для симуляции тканей используя вычислительные мощности GPU
- в рамках реализации XPBD поддерживать коллизию тканей с плоскостями, сферами, капсулами
- в рамках реализации XPBD поддерживать коллизию тканей с другими тканями
- разработать и реализовать эмперический алгоритм для улучшения сходимости XPBD

1.2. Ожидаемый результат

Ожидаемым результатом работы является улучшение проекта "DX12Engine" за счет добавления в него симуляции поведения тканей. При этом должна быть поддержана возможность переключения алгоритма симуляции между тремя вариантами:

- XPBD использующий GPU
- XPBD использующий GPU совмещенный с эмперическим алгоритмом
- алгоритм симуляции представленный в библиотеке NVidia Cloth.

Помимо этого, ожидаемым результатом является сравнительный анализ реализованных алгоритмов как с точки зрения производительности, так и с точки зрения визуальной корректности.

ГЛАВА 2. НАЗВАНИЕ ВТОРОЙ ГЛАВЫ: РАЗРАБОТКА МЕТОДА, АЛГОРИТМА, МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Глава посвящена более подробным примерам оформления текстово-графических объектов.

В параграфе 2.1 приведены примеры оформления многострочной формулы и одиночного рисунка. Параграф 2.2 раскрывает правила оформления перечислений

и псевдокода. В параграфе 2.3 приведены примеры оформления сложносоставных рисунков, длинных таблиц, а также теоремоподобных окружений.

2.1. Название параграфа

Все формулы, размещенные в отдельных строках, подлежат нумерации, например, как формулы (2.1) и (2.2) из [0].

$$A^\uparrow = \{m \in M \mid gIm \ \forall g \in A\}; \quad (2.1)$$

$$B^\downarrow = \{g \in G \mid gIm \ \forall m \in B\}. \quad (2.2)$$

Обратим внимание, что формулы содержат знаки препинания и что они выровнены по левому краю (с помощью знака & окружения align).

На рис.2.1 приведёна фотография Нового научно-исследовательского корпуса СПбПУ.



Рис.2.1. Новый научно-исследовательский корпус СПбПУ [0]

2.2. Название параграфа

Название параграфа оформляется с помощью команды `\section{...}`, название главы — `\chapter{...}`.

2.2.1. Название подпараграфа

Название подпараграфа оформляется с помощью команды `\subsection{...}`.

Использование подподпараграфов в основной части крайне не рекомендуется. В случае использования, необходимо вынести данный номер в содержание. Название подпараграфа оформляется с помощью команды `\subsubsection{...}`.

Вместо подподпараграфов рекомендовано использовать перечисления.

Перечисления могут быть с нумерационной частью и без неё и использоваться с иерархией и без иерархии. Нумерационная часть при этом формируется следующим способом:

1. в перечислениях *без иерархии* оформляется арабскими цифрами с точкой (или длинным тире).
2. В перечислениях *с иерархией* — в последовательности сначала прописных латинских букв с точкой, затем арабских цифр с точкой и далее — строчных латинских букв со скобкой.

Далее приведён пример перечислений с иерархией.

A. Первый пункт.

B. Второй пункт.

C. Третий пункт.

D. По ГОСТ 2.105–95 [0] первый уровень нумерации идёт буквами русского или латинского алфавитов (*для определенности выбираем английский алфавит*), а второй — цифрами.

1. В данном пункте лежит следующий нумерованный список:

- a) первый пункт;
- b) третий уровень нумерации не нормирован ГОСТ 2.105–95 (*для определенности выбираем английский алфавит*);
- c) обращаем внимание на строчность букв в этом нумерованном и следующем маркированном списке:
 - первый пункт маркированного списка.

E. Пятый пункт верхнего уровня перечисления.

Маркированный список (без нумерационной части) используется, если нет необходимости ссылки на определенное положение в списке:

- первый пункт с *маленькой буквы* по правилам русского языка;
- второй пункт с *маленькой буквы* по правилам русского языка.

Оформление псевдокода необходимо осуществлять с помощью пакета `algorithm2e` в окружении `algorithm`. Данное окружение интерпретируется в шаблоне как рисунок. Пример оформления псевдокода алгоритма приведён на рис.2.2.

Обратим внимание, что можно сослаться на строчку 1 псевдокода из рис.2.2.

Algorithm

Input: the many-valued context $\mathbb{M} \stackrel{\text{def}}{=} (G, M, W, J)$, the class membership $\varepsilon : G \rightarrow K$

Output: positive and negative binary contexts $\overline{\mathbb{K}}_+ \stackrel{\text{def}}{=} (\overline{G}_+, M, I_+)$, $\overline{\mathbb{K}}_- \stackrel{\text{def}}{=} (\overline{G}_-, M, I_-)$ such that i-tests found in $\overline{\mathbb{K}}_+$ are diagnostic tests in \mathbb{M} , and objects from $\overline{\mathbb{K}}_-$ are counter-examples

```

1. for  $\forall g_i, g_j \in G$  do
2.   if  $i < j$  then
3.      $\overline{G} \leftarrow (g_i, g_j);$ 
4.   for  $\forall (g_i, g_j) \in \overline{G}$  do
5.     if  $m(g_i) = m(g_j)$  then
6.        $(g_i, g_j)Im;$ 
7.     if  $\varepsilon(g_i) = \varepsilon(g_j)$  then
8.        $\overline{G}_+ \leftarrow (g_i, g_j);$ 
9.     else  $\overline{G}_- \leftarrow (g_i, g_j);$ 
10.   $I_+ = I \cap (\overline{G}_+ \times M), I_- = I \cap (\overline{G}_- \times M);$ 
11.  for  $\forall \overline{g}_+ \in \overline{G}_+, \forall \overline{g}_- \in \overline{G}_-$  do
12.    if  $\overline{g}_+^\uparrow \subseteq \overline{g}_-^\uparrow$  then
13.       $\overline{G}_+ \leftarrow \overline{G}_+ \setminus \overline{g}_+;$ 

```

Рис.2.2. Псевдокод алгоритма DiagnosticTestsScalingAndInferring [0]

2.3. Название параграфа

Одиночные формулы также, как и отдельные формулы в составе группы, могут быть размещены в несколько строк. Чтобы выставить номер формулы напротив средней строки, используйте окружение `multlined` из пакета `mathtools` следующим образом [0]:

$$\begin{aligned}
 (A_1, B_1) &\leq (A_2, B_2) \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow A_1 \subseteq A_2 \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow B_2 \subseteq B_1.
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

Используя команду `\labelcref{...}` из пакета `cleveref`, допустимо оформить ссылку на несколько формул, например, (2.1–2.3).

Пример оформления четырёх иллюстраций в одном текстово-графическом объекте приведён на рис.2.3. Это возможно благодаря использованию пакета subcaption.

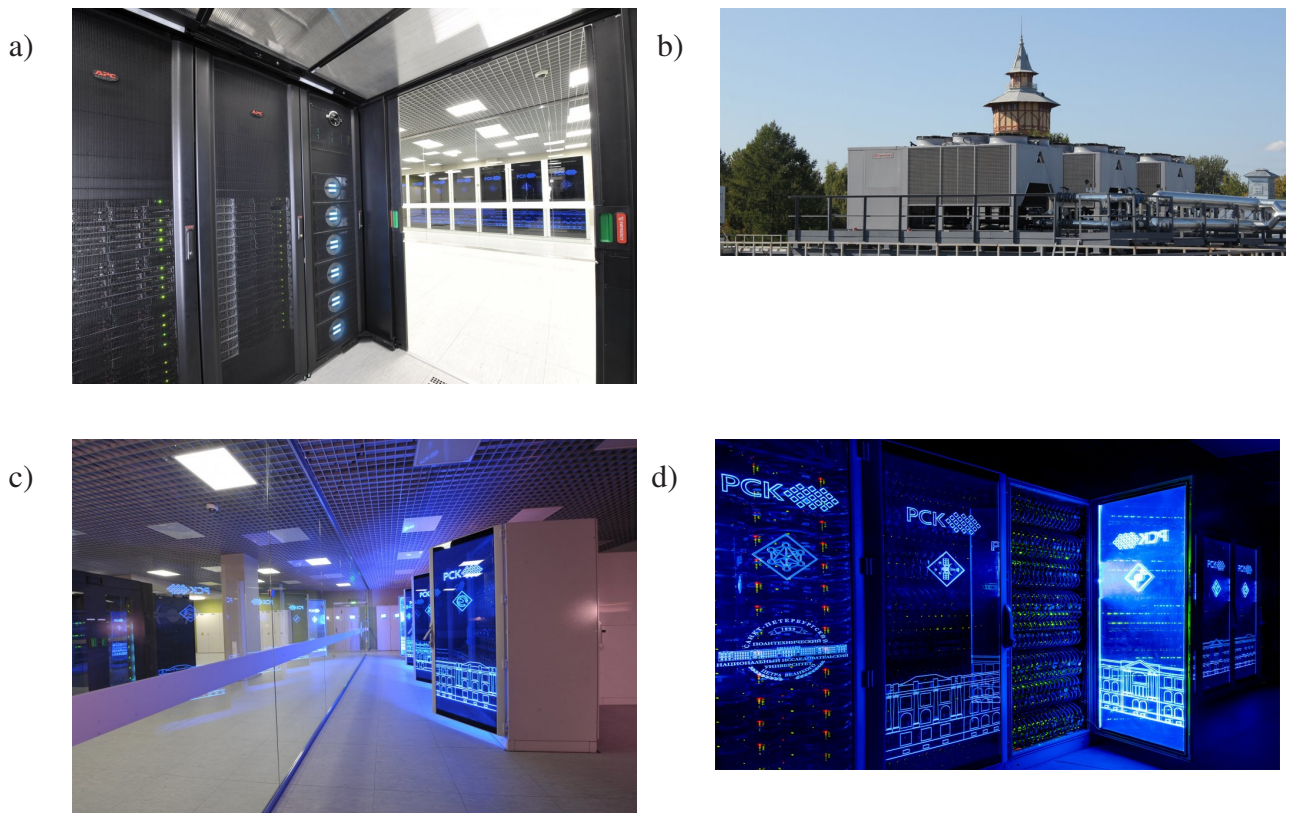


Рис.2.3. Фотографии суперкомпьютерного центра СПбПУ [0]: *a* — система хранения данных и узлы NUMA-вычислителя; *b* — холодильные машины на крыше научно-исследовательского корпуса; *c* — машинный зал; *d* — элементы вычислительных устройств

Далее можно ссылаться на составные части данного рисунка как на самостоятельные объекты: рис.2.3а, рис.2.3b, рис.2.3с, рис.2.3d или на три из четырёх изображений одновременно: рис.2.3а–2.3с.

Приведём пример табличного представления данных с записью продолжения на следующей странице на табл.2.1.

Таблица 2.1

Пример задания данных из [0] (с повтором для переноса таблицы на новую страницу)

G	m_1	m_2	m_3	m_4	K
1	2	3	4	5	6
g_1	0	1	1	0	1
g_2	1	2	0	1	1
g_3	0	1	0	1	1
g_4	1	2	1	0	2
g_5	1	1	0	1	2
g_6	1	1	1	2	2

Продолжение табл.2.1

1	2	3	4	5	6
g_1	0	1	1	0	1
g_2	1	2	0	1	1
g_3	0	1	0	1	1
g_4	1	2	1	0	2
g_5	1	1	0	1	2
g_6	1	1	1	2	2
g_1	0	1	1	0	1
g_2	1	2	0	1	1
g_3	0	1	0	1	1
g_4	1	2	1	0	2
g_5	1	1	0	1	2
g_6	1	1	1	2	2
g_1	0	1	1	0	1
g_2	1	2	0	1	1
g_3	0	1	0	1	1
g_4	1	2	1	0	2
g_5	1	1	0	1	2
g_6	1	1	1	2	2
g_1	0	1	1	0	1
g_2	1	2	0	1	1
g_3	0	1	0	1	1
g_4	1	2	1	0	2
g_5	1	1	0	1	2
g_6	1	1	1	2	2
g_1	0	1	1	0	1
g_2	1	2	0	1	1
g_3	0	1	0	1	1
g_4	1	2	1	0	2
g_5	1	1	0	1	2
g_6	1	1	1	2	2
g_1	0	1	1	0	1
g_2	1	2	0	1	1
g_3	0	1	0	1	1
g_4	1	2	1	0	2
g_5	1	1	0	1	2
g_6	1	1	1	2	2

Таблица 2.2

Пример представления данных для сквозного примера по ВКР [0]

G	m_1	m_2	m_3	m_4	K
g_1	0	1	1	0	1
g_2	1	2	0	1	1
g_3	0	1	0	1	1
g_4	1	2	1	0	2
g_5	1	1	0	1	2
g_6	1	1	1	2	2

Таблица 2.3

Пример задания данных в табличном виде из [0] (с помощью окружения `minipage`)

G	m_1	m_2	m_3	m_4	K
g_1	0	1	1	0	1
g_2	1	2	0	1	1
g_3	0	1	0	1	1
g_4	1	2	1	0	2
g_5	1	1	0	1	2
g_6	1	1	1	2	2



Рис.2.4. Новый научно-исследовательский корпус СПбПУ [0] (с помощью окружения `minipage`)

Вопросы форматирования текстово-графических объектов (окружений) не регламентированы в известных нам ГОСТах, поэтому предлагаем придерживаться следующих правил:

- **полужирный текст** рекомендуем использовать только для названий стандартных окружений с нумерационной частью, например, для представления *впервые*: **определение 1.1, теорема 2.2, пример 2.3, лемма 4.5**;
- *курсив* рекомендуем использовать только для выделения переменных в формулах, служебной информации об авторах главы (статьи), важных терминов, представляемых по тексту, а также для всего тела окруже-

ний, связанных с получением *новых существенных результатов и их доказательством*: теорема, лемма, следствие, утверждение и другие.

По аналогии с нумерацией формул, рисунков и таблиц нумеруются и иные текстово-графические объекты, то есть включаем в нумерацию номер главы, например: теорема 3.1. для первой теоремы третьей главы монографии. Команды \LaTeX выставляют нумерацию и форматирование автоматически. Полный перечень команд для подготовки текстово-графических и иных объектов находится в подробных методических рекомендациях [0].

Для удобства авторов названия стандартных окружений, рекомендованных к использованию, приведены в табл.2.4, а в табл.2.5 перечислены имена специально разработанных окружений для шаблонов SPbPU.

Таблица 2.4

Стандартные окружения

Название окружения	Назначение
center	центрирование, аналог команды <code>\centering</code> , но с добавлением нежелательного пробела, поэтому лучше избегать применения <code>center</code>
itemize	перечисления, в которых нет необходимости нумеровать пункты (немаркированные списки)
enumerate	перечисления с нумерацией (немаркированные списки)
refsection	создание отдельных библиографических списков для глав
tabular	оформление таблиц
table	автоматическое перемещение по тексту таблиц, оформленных, например, с помощью <code>tabular</code> , для минимизации пустых пространств
longtable	оформление многостраничных таблиц
tikzpicture	создание иллюстраций с помощью пакета <code>tikz</code> [0]
figure	автоматическое перемещение по тексту рисунков, оформленных например, с помощью <code>tikz</code> или подключенных с помощью команды <code>\includegraphics</code> , для минимизации пустых пространств
subfigure	оформление вложенных рисунков в составе <code>figure</code>
algorithm	оформление псевдокода на основе пакета <code>algorithm2e</code> [0]
minipage	оформление рисунков и таблиц без функций автоматического перемещения по тексту для минимизации пустых пространств
equation	оформление выключенных (не встроенных в текст с помощью <code>\$. . . \$</code>) одиночных формул на одной строке
multilined	оформление выключенных (не встроенных в текст с помощью <code>\$. . . \$</code>) одиночных формул в несколько строк
aligned	оформление нескольких формул с выравниванием по символу <code>&</code> .

На базе пакета `tikz` разработано большое количество расширений [0], например, `tikzcd`, которые мы рекомендуем использовать для оформления иллюстраций.

Таблица 2.5

Специальные окружения

Название окружения	Текстово-графический объект
abstr	реферат (abstract)
m-theorem	теорема
m-corollary	следствие
m-proposition	утверждение
m-lemma	лемма
m-axiom	аксиома
m-example	пример
m-definition	определение
m-condition	условие
m-problem	проблема
m-exercise	упражнение
m-question	вопрос
m-hypothesis	гипотеза

В случае, если авторам потребовалось новое окружение, то создать его можно в файле `my_folder/my_settings.tex` согласно правилам, приведённым ниже.

1. Для перехода в режим создания окружений следует указать:
 - `\theoremstyle{myplain}` — окружения с доказательствами или аксиомами
 - `\theoremstyle{mydefinition}` — окружения, не связанные с доказательствами или аксиомами.
2. В команде создания окружения следует ввести краткий псевдоним (`m-new-env`) и отображаемое в pdf имя окружения (Название_окружения):
 - `\newtheorem{m-new-env-second}{Название_окружения}[chapter]`.

Теорема 2.1 (о чем-то конкретном). *Текст теоремы полностью выделен курсивом. Допустимо математические символы не выделять курсивом, если это искажает их значения. Используется абзацный отступ, так как “Абзацы в тексте начинают отступом” в соответствии с ГОСТ 2.105–95. Название теоремы допустимо убрать. Доказательство окончено.*

Доказательство теоремы 2.1, леммы, утверждений, следствий и других подобных окружений (в последнем абзаце) завершаем предложением в котором сказано, что доказательство окончено. Например, доказательство теоремы 2.1 окончено.

Тело доказательства не выделяется курсивом. Тело следующих окружений также не выделяется сплошным курсивом: определение, условие, проблема, пример, упражнение, вопрос, гипотеза и другие.

Определение 2.1 (термин). В тексте определения только *важные термины* выделяются курсивом. Если определение носит лишь вспомогательный характер, то допустимо не использовать окружение `m-definition`, представляя текст определения в обычном абзаце. Ключевые термины при этом обязательно выделяются курсивом.

Вместо теоремо-подобных окружений для вставки небольших текстово-графических объектов иногда используются команды. Типичным примером такого подхода является команда `\footnote{text}`¹, где в аргументе `text` указывают текст *подстрочной ссылки (сноски)*. В них *нельзя добавлять веб-ссылки или цитировать литературу*. Для этих целей используется список литературы. Нумерация сносок сквозная по ВКР без точки на конце выставляется в шаблоне автоматически, однако в каждом приложении к ВКР нумерация, зависящая от номера приложения, выставляется префикс «П», например «П1.1» — первая сноска первого приложения.

2.4. Выводы

Текст заключения ко второй главе. Пример ссылок [0], а также ссылок с указанием страниц, на котором отображены те или иные текстово-графические объекты [0, с. 96] или в виде мультицитаты на несколько источников [0, с. 96; 0, с. 46]. Часть библиографических записей носит иллюстративный характер и не имеет отношения к реальной литературе.

Короткое имя каждого библиографического источника содержится в специальном файле `my_biblio.bib`, расположенном в папке `my_folder`. Там же находятся исходные данные, которые с помощью программы `Viber` и стилевого файла `Biblatex-GOST` [0] приведены в списке использованных источников согласно ГОСТ 7.0.5-2008. Многообразные реальные примеры исходных библиографических данных можно посмотреть по ссылке [0].

Как правило, ВКР должна состоять из четырех глав. Оставшиеся главы можно создать по образцу первых двух и подключить с помощью команды `\input`

¹Внимание! Команда вставляется непосредственно после слова, куда вставляется сноска (без пробела). Лишние пробелы также не указываются внутри команды перед и после фигурных скобок.

к исходному коду ВКР. Далее в приложении ?? приведены краткие инструкции запуска исходного кода ВКР [0].

В приложении ?? приведено подключение некоторых текстово-графических объектов. Они оформляются по приведенным ранее правилам. В качестве номера структурного элемента вместо номера главы используется «П» с номером главы. Текстово-графические объекты из приложений не учитываются в реферате.

ГЛАВА 3. НАЗВАНИЕ ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЫ: РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Хорошим стилем является наличие введения к главе. Во введении может быть описана цель написания главы, а также приведена краткая структура главы.

3.1. Название параграфа

3.2. Название параграфа

3.3. Выводы

Текст выводов по главе 3.

ГЛАВА 4. НАЗВАНИЕ ЧЕТВЁРТОЙ ГЛАВЫ. АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ, А ИМЕННО: МЕТОДА, АЛГОРИТМА, МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Хорошим стилем является наличие введения к главе. Во введении может быть описана цель написания главы, а также приведена краткая структура главы.

4.1. Название параграфа

4.2. Название параграфа

Пример ссылки на литературу [0].

4.3. Выводы

Текст выводов по главе 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заключение (2 – 5 страниц) обязательно содержит выводы по теме работы, *конкретные предложения и рекомендации* по исследуемым вопросам. Количество общих выводов должно вытекать из количества задач, сформулированных во введении выпускной квалификационной работы.

Предложения и рекомендации должны быть органически увязаны с выводами и направлены на улучшение функционирования исследуемого объекта. При разработке предложений и рекомендаций обращается внимание на их обоснованность, реальность и практическую приемлемость.

Заключение не должно содержать новой информации, положений, выводов и т. д., которые до этого не рассматривались в выпускной квалификационной работе. Рекомендуются писать заключение в виде тезисов.

Последним абзацем в заключении можно выразить благодарность всем людям, которые помогли автору в написании ВКР.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

0. *Автономова Н. С.* Философский язык Жака Деррида. — М.: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 2011. — 510 с. — (Сер.: Российские Пропилеи).

0. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам [Текст]: ГОСТ 2.105–95. — Взамен ГОСТ 2.105—79, ГОСТ 2.906—71 ; введ. 1996—07—01. — Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. — 31 с. — (Сер.: Межгосударственный стандарт).

0. *Котельников И. А., Чеботаев П. З.* LaTeX по-русски. — 3-е изд. — Новосибирск: Сибирский Хронограф, 2004. — 496 с. — URL: <http://www.tex.uniyar.ac.ru/doc/kotelnikovchebotaev2004b.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).

0. *Песков Н. В.* Поиск информативных фрагментов описаний объектов в задачах распознавания: дис. . . . канд. физ.-мат. наук: 05.13.17 / Песков Николай Владимирович. — М., 2004. — 102 с.

0. Руководство студента СПбПУ по подготовке выпускной квалификационной работы и сопутствующих документов с помощью LaTeX / В. А. Пархоменко [и др.]. — 2018. — URL: https://github.com/ParkhomenkoV/SPbPU-student-thesis-template/blob/master/Author_guide_SPbPU-student-thesis.pdf (дата обращения: 06.03.2019).

0. Position based dynamics / M. Müller [и др.] // Journal of Visual Communication and Image Representation. — 2007. — Т. 18, № 2. — С. 109—118.

0. Position-based dynamics simulator of vessel deformations for path planning in robotic endovascular catheterization / Z. Li [и др.] // Medical Engineering & Physics. — 2022. — Т. 110. — С. 103920.

0. *Adams P.* The title of the work // The name of the journal. — 1993. — Vol. 4, no. 2. — P. 201–213.

0. Author and editor guide to prepare and submit the academic SPbPU editions to Clarivate Analytics: Book Citation Index Web of Science / V. Parkhomenko [et al.]. — 2018. — URL: https://github.com/ParkhomenkoV/SPbPU-BCI-template/blob/master/Author_guide_SPbPU-BCI.pdf (visited on 06.03.2019).

0. *Babington P.* The title of the work. Vol. 4. — 3rd ed. — The address: The name of the publisher, 1993. — 255 p. — (Ser.: 10).

0. *Badiou A.* Briefings on Existence: A Short Treatise on Transitory Ontology / ed. and trans. from the French, with an introd., by N. Madarasz. — NY: SUNY Press, 2006. — 190 p. — URL: https://books.google.ru/books?id=7HNkAT%5C_NFksC (visited on 05.12.2017).

0. *Caxton P.* The title of the work. — The address of the publisher, 1993. — 255 p.

0. *Domanov O.* BibLATEX support for GOST standard bibliographies. — URL: <https://ctan.org/pkg/biblatex-gost> (visited on 06.03.2019).

0. *Domanov O.* Biblatex-GOST examples. — URL: <http://ctan.altspu.ru/macros/latex/contrib/biblatex-contrib/biblatex-gost/doc/biblatex-gost-examples.pdf> (visited on 06.03.2019).

0. *Draper P.* The title of the work // The title of the book. Vol. 4 / ed. by T. editor. — The organization. The address of the publisher: The publisher, 1993. — (Ser.: 5).

0. *Eston P.* The title of the work // Book title. Vol. 4. — 3rd ed. — The address of the publisher: The name of the publisher, 1993. — Chap. 8 — P. 201–213. — (Ser.: 5).

0. *Farindon P.* The title of the work // The title of the book. Vol. 4 / ed. by T. editor. — 3rd ed. — The address of the publisher: The name of the publisher, 1993. — Chap. 8 — P. 201–213. — (Ser.: 5).

0. *Feuersanger C., Tantau T.* The TikZ and PGF packages. — URL: <https://ctan.org/pkg/pgf> (visited on 06.03.2019).

0. *Fiorio C.* The algorithm2e package. — URL: <https://ctan.org/pkg/algorithm2e> (visited on 06.03.2019).

0. *Gainsford P.* The title of the work / The organization. — 3rd ed. — The address of the publisher, 1993. — 255 p.

0. *Ganter B., Wille R.* Formal concept analysis: mathematical foundations. — Springer, Berlin, 1999. — 284 p.

0. *Harwood P.* The title of the work: Master's thesis / Harwood Peter. — The address of the publisher: The school where the thesis was written, 1993. — 255 p.

0. *Isley P.* The title of the work. — 1993.

0. *Joslin P.* The title of the work: diss. ... PhD in Engineering / Joslin Peter. — The address of the publisher: The school where the thesis was written, 1993. — 255 p.

0. *Kotelnikov I. A., Chebotaev P. Z.* LaTeX in Russian. — 3rd ed. — Novosibirsk: Sibiskiy Hronograph, 2004. — 496 p. — URL: <http://www.tex.uniyar.ac.ru/doc/kotelnikovchebotaev2004b.pdf> (visited on 06.03.2019); (in Russian).

0. *Lambert P.* The title of the work: tech. rep. / The institution that published. — The address of the publisher, 1993. — 255 p. — No. 2.

0. *Marcheford P.* The title of the work. — 1993.

0. MiKTeX web site. — URL: <https://miktex.org/> (visited on 06.03.2019).

0. Notes on relation between symbolic classifiers / X. Naidenova [et al.] // CEUR Workshop Proceedings / ed. by K. S. Watson B.W. — 2017. — Vol. 1921. — P. 88–103. — URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1921/paper9.pdf> (visited on 19.12.2017).

0. *Peskov N. V.* Searching for informative fragments of object descriptions in the recognition tasks: diss. ... cand. phys.-math. sci.: 05.13.17 / Peskov Nickolay Vladimirovich. — M., 2004. — 102 p. — (in Russian).

0. SPbPU photo gallery. — URL: <http://www.spbstu.ru/media/photo-gallery/> (visited on 06.03.2019).

0. TeXstudio web site. — URL: <https://www.texstudio.org/> (visited on 06.03.2019).

0. The title of the work. Vol. 4 / ed. by P. Kidwelly. — The organization. The address of the publisher: The name of the publisher, 1993. — 255 p. — (Ser.: 5).