

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Длинное название образовательного учреждения
«АББРЕВИАТУРА»



На правах рукописи

Фамилия Имя Отчество

**Длинное название диссертационной работы, состоящее
из достаточно большого количества слов, совсем длинное
длинное длинное длинное название, из которого простому
обывателю знакомы, в лучшем случае, лишь отдельные
слова**

Специальность **XX.XX.XX** —

«Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур,
крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель:
уч. степень, уч. звание
Фамилия Имя Отчество

Город — 2025

Оглавление

	Стр.
Введение	4
Глава 1. Обзор литературы	7
1.1 Исследование композитных материалов	7
1.1.1 Идентификация материала	9
1.2 Методы топологической оптимизации	11
1.2.1 Метод плотности (SIMP)	12
1.2.2 Методы эволюционной структурной оптимизации (ESO) .	14
1.3 Ссылки	16
1.4 Формулы	17
1.4.1 Ненумерованные одиночные формулы	17
1.4.2 Ненумерованные многострочные формулы	18
1.4.3 Нумерованные формулы	20
1.4.4 Форматирование чисел и размерностей величин	21
1.4.5 Заголовки с формулами: $a^2 + b^2 = c^2$, $ \operatorname{Im}\Sigma(\varepsilon) \approx \textit{const}$, $\sigma_{xx}^{(1)}$	21
1.5 Работа со списком сокращений и условных обозначений	24
Глава 2. Длинное название главы, в которой мы смотрим на примеры того, как будут верстаться изображения и списки	26
2.1 Длинное название параграфа, в котором мы узнаём как сделать две картинки с общим номером и названием	26
2.2 Векторная графика	27
2.3 Пример вёрстки списков	28
2.4 Традиции русского набора	29
2.4.1 Пробелы	29
2.4.2 Математические знаки и символы	29
2.4.3 Кавычки	30
2.4.4 Тире	30
2.4.5 Дефисы и переносы слов	31

2.5 Текст из панграмм и формул	31
Заключение	36
Словарь терминов	37
Список рисунков	38
Список таблиц	39
Приложение А. Примеры вставки листингов программного кода	40
Приложение Б. Очень длинное название второго приложения, в котором продемонстрирована работа с длинными таблицами	46
Б.1 Подраздел приложения	46
Б.2 Ещё один подраздел приложения	46
Б.3 Использование длинных таблиц с окружением <i>longtblr</i> из пакета <i>tabularray</i>	46
Б.4 Форматирование внутри таблиц	50
Б.5 Стандартные префиксы ссылок	52
Б.6 Очередной подраздел приложения	52
Б.7 И ещё один подраздел приложения	53

Введение

Обзор, введение в тему, обозначение места данной работы в мировых исследованиях и т. п., можно использовать ссылки на другие работы [**Gosele1999161**; **Lermontov**] (если их нет, то в автореферате автоматически пропадёт раздел «Список литературы»). Внимание! Ссылки на другие работы в разделе общей характеристики работы можно использовать только при использовании `biblatex` (из-за технических ограничений `bibtex8`. Это связано с тем, что одна и та же характеристика используются и в тексте диссертации, и в автореферате. В последнем, согласно ГОСТ, должен присутствовать список работ автора по теме диссертации, а `bibtex8` не умеет выводить в одном файле два списка литературы). При использовании `biblatex` возможно использование исключительно в автореферате подстрочных ссылок для других работ командой `\autocite [Marketing]`, а также цитирование собственных работ командой `\cite`. Для этого в файле `common/setup.tex` необходимо присвоить положительное значение счётчику `\setcounter{usefootcite}{1}`.

Для генерации содержимого титульного листа автореферата, диссертации и презентации используются данные из файла `common/data.tex`. Если, например, вы меняете название диссертации, то оно автоматически появится в итоговых файлах после очередного запуска `LATEX`. Согласно ГОСТ 7.0.11-2011 «5.1.1 Титульный лист является первой страницей диссертации, служит источником информации, необходимой для обработки и поиска документа». Наличие логотипа организации на титульном листе упрощает обработку и поиск, для этого разметите логотип вашей организации в папке `images` в формате PDF (лучше найти его в векторном варианте, чтобы он хорошо смотрелся при печати) под именем `logo.pdf`. Настроить размер изображения с логотипом можно в соответствующих местах файлов `title.tex` отдельно для диссертации и автореферата. Если вам логотип не нужен, то просто удалите файл с логотипом.

Этот абзац появляется только в диссертации. Через проверку условия `\ifsynopsis`, задаваемого в основном файле документа (`dissertation.tex` для диссертации), можно сделать новую команду, обеспечивающую появление цитаты в диссертации, но не в автореферате.

Целью данной работы является ...

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Исследовать, разработать, вычислить и т. д. и т. п.
2. Исследовать, разработать, вычислить и т. д. и т. п.
3. Исследовать, разработать, вычислить и т. д. и т. п.
4. Исследовать, разработать, вычислить и т. д. и т. п.

Научная новизна:

1. Впервые ...
2. Впервые ...
3. Было выполнено оригинальное исследование ...

Практическая значимость ...

Методология и методы исследования. ...

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Первое положение
2. Второе положение
3. Третье положение
4. Четвертое положение

В папке Documents можно ознакомиться с решением совета из Томского ГУ (в файле Def_positions.pdf), где обоснованно даются рекомендации по формулировкам защищаемых положений.

Достоверность полученных результатов обеспечивается ... Результаты находятся в соответствии с результатами, полученными другими авторами.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на: перечисление основных конференций, симпозиумов и т. п.

Личный вклад. Автор принимал активное участие ...

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 0 печатных изданиях, 0 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК.

При использовании пакета `biblatex` будут подсчитаны все работы, добавленные в файл `biblio/author.bib`. Для правильного подсчёта работ в различных системах цитирования требуется использовать поля:

- `authorvak` если публикация индексируется ВАК,
- `authorscopus` если публикация индексируется Scopus,
- `authorwos` если публикация индексируется Web of Science,
- `authorconf` для докладов конференций,

- `authorpatent` для патентов,
- `authorprogram` для зарегистрированных программ для ЭВМ,
- `authorother` для других публикаций.

Для подсчёта используются счётчики:

- `citeauthorvak` для работ, индексируемых ВАК,
- `citeauthorscopus` для работ, индексируемых Scopus,
- `citeauthorwos` для работ, индексируемых Web of Science,
- `citeauthorvakscopuswos` для работ, индексируемых одной из трёх баз,
- `citeauthorscopuswos` для работ, индексируемых Scopus или Web of Science,
- `citeauthorconf` для докладов на конференциях,
- `citeauthorother` для остальных работ,
- `citeauthorpatent` для патентов,
- `citeauthorprogram` для зарегистрированных программ для ЭВМ,
- `citeauthor` для суммарного количества работ.

Для добавления в список публикаций автора работ, которые не были процитированы в автореферате, требуется их перечислить с использованием команды `\nocite` в `Synopsis/content.tex`.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 2 глав, заключения и 3 приложений. Полный объём диссертации составляет 53 страницы, включая 3 рисунка и 9 таблиц. Список литературы содержит 0 наименований.

Глава 1. Обзор литературы

1.1 Исследование композитных материалов

Пьезоэлектрические устройства используются для преобразования механической энергии в электрическую и наоборот. Такие устройства применяются в технологиях для получения и накопления энергии, в различных медицинских приборах, при разработке систем, работающих в жидких и акустических средах. Рабочим элементом пьезопреобразователя является пьезокерамический элемент определенной формы. Форма и тип деформации этого элемента определяют пьезомодули, которые характеризуют преобразование механической энергии деформации в электрическую. Так пьезомодуль d_{33} связан с растяжением-сжатием вдоль оси поляризации, d_{31} — с такой же деформацией в поперечном направлении к этой оси, d_{15} — со сдвигом. Использование пористой керамики позволяет создавать более эффективные пьезопреобразователи. Очевидным преимуществом является уменьшение веса, но также необходимо учитывать жесткость и, что самое важное, выходной потенциал. В случае пористой керамики модули упругости с ростом пористости убывают значительно сильнее, чем пьезомодули, то есть при одной и той же механической нагрузке амплитуда деформации у пористой керамики будет больше, а следовательно и выходной электрический потенциал тоже растет.

Задача поиска оптимального дизайна таких устройств требует учета как геометрических характеристик отдельных частей устройства, так и подбора материалов со свойствами, подходящими для определенных режимов колебаний.

Актуальность исследований в данной области подтверждается интересом различных групп исследователей к задачам оптимизации пьезоэлектрических устройств. В работе [Yu2016] решается задача оценки эффективности электро-механической связи в режиме сдвига-изгиба для пьезоэлектрической пластины кольцевой формы. В соответствии с классической теорией упругих пластин малого изгиба и пьезоэлектрическими определяющими соотношениями получено аналитическое решение для изгибной деформации преобразователя под действием электрического поля и концентрированной или равномерно распределенной механической нагрузки. Определено оптимальное соотношение

внутреннего и внешнего радиусов. В работе [Gao2018] рассмотрен многослойный цилиндрический пьезопреобразователь (MCPSA), работающий в режиме сдвига d_{15} . Устройство состоит из пьезокерамических колец, концентрически собранных вместе с попеременной положительной и отрицательной поляризацией в осевом направлении. Проведены эксперименты, исследованы характеристики смещения устройства при приложенном напряжении и механической нагрузке. Статья [Yan2018] посвящена исследованию многослойных пьезоэлектрических преобразователей с акцентом на высокую выходную мощность. Целью исследования является создание повышение плотности мощности устройства. В работе [Yang2019] рассматривается процесс создания дизайн нового пьезоэлектрического метаматериала. На основе этого материала разработаны многослойные структуры, работающие в сдвиговом режиме.

Сдвиговые колебания устройств из пьезокерамики широко используются в прикладной технике. Сбор энергии - один из основных способов использования таких материалов [Mohanty2019; Elahi2018; Almanza2023], поскольку он позволяет собирать «зеленую» энергию с низкой стоимостью. Известны ограничения этого подхода, включая деградацию керамики после некоторого времени использования или ограниченное напряжение, но новые пьезоматериалы позволяют создавать не только традиционные крупномасштабные сборщики энергии, но и небольшие носимые устройства. Такие материалы также актуальны при нанобработке [Xue2022].

Поведение упругих и электроупругих тел описывается следующими уравнениями и определяющими соотношениями:

$$\begin{aligned} \rho_j \omega^2 \ddot{\mathbf{u}} + \alpha_{dj} \rho_j \dot{\mathbf{u}} - \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} &= \mathbf{f}_j; \quad \nabla \cdot \mathbf{D} = 0; \\ \boldsymbol{\sigma} &= \mathbf{c}_j^E \cdot \cdot (\boldsymbol{\varepsilon} + \beta_{dj} \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}) - \mathbf{e}_j^T \cdot \mathbf{E}; \quad \mathbf{E} = -\nabla \varphi; \\ \mathbf{D} + \varsigma_{dj} \dot{\mathbf{D}} &= \mathbf{e}_j \cdot \cdot \boldsymbol{\varepsilon} + \mathbf{k}_j \cdot \mathbf{E}; \quad \boldsymbol{\varepsilon} = (\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T)/2 \end{aligned} \quad (1.1)$$

где $\boldsymbol{\sigma}$ — тензор напряжений, ρ — плотность, $\boldsymbol{\varepsilon}$ — тензор деформаций, \mathbf{u} — вектор перемещений, \mathbf{D} — вектор электрической индукции, \mathbf{E} — вектор напряженности электрического поля, \mathbf{f} — вектор массовых сил, φ — электрический потенциал, \mathbf{c}^E — тензор упругих констант, \mathbf{e}^T — тензор пьезомодулей, \mathbf{k} — тензор диэлектрических проницаемостей, ω — круговая частота, $\alpha_d, \beta_d, \varsigma_d$ — коэффициенты демпфирования, j — номер тела в модели.

На основе первых уравнений (1.1) конечно-элементную модель в векторной форме записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) &= \mathbf{N}_u^T(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{U}(t); \\ \varphi(\mathbf{x}, t) &= \mathbf{N}_\varphi^T(\mathbf{x}) \cdot \Phi(t) \end{aligned} \quad (1.2)$$

где \mathbf{N}_u – матрица функций формы для поля перемещений, \mathbf{N}_φ – вектор функций формы для электрического потенциала. $\mathbf{U}(t)$, $\Phi(t)$ – глобальные векторы соответствующих узловых степеней свободы.

1.1.1 Идентификация материала

Для определения материальных свойств композитных материалов применяется метод осреднения [Do2023]. В основе этого метода лежит идея вычисления средних свойств материала для представительных объемов. После того как все свойства известны, модель материала может быть сведена к общему анизотропному электроупругому материалу.

Для определения свойств материала в представительном объеме V решается статическая задача электроупругости со специальными граничными условиями. Система уравнений в объеме получается из (1.1) для функций u и φ , которые зависят только от пространственной координаты \mathbf{x} . Тогда уравнения (1.1) можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} &= 0; & \nabla \cdot \mathbf{D} &= 0; \\ \boldsymbol{\sigma} &= \mathbf{c}^E \cdot \boldsymbol{\varepsilon} - \mathbf{e}^T \cdot \mathbf{E}; & \mathbf{E} &= -\nabla \varphi; \\ \mathbf{D} &= \mathbf{e} \cdot \boldsymbol{\varepsilon} + \mathbf{k} \cdot \mathbf{E} & \boldsymbol{\varepsilon} &= (\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T)/2. \end{aligned} \quad (1.3)$$

Граничные условия в задаче усреднения пористого пьезокомпозитного материала [Mawassy2021] используются:

$$\mathbf{u} = \mathbf{x} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_0, \quad \varphi = -\mathbf{x} \cdot \mathbf{E}_0, \quad \mathbf{x} \in \Gamma = \partial V, \quad (1.4)$$

где $\boldsymbol{\varepsilon}_0 = \boldsymbol{\varepsilon}_0^T$ – симметричный тензор постоянных деформаций второго ранга, \mathbf{E}_0 – постоянный вектор электрического поля.

Для однородной среды решением краевой задачи (1.3), (1.4) является $\mathbf{u} = \mathbf{x} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_0$, $\varphi = -\mathbf{x} \cdot \mathbf{E}_0$ с постоянными эффективными модулями.

Для решения краевой задачи (1.3), (1.4) в неоднородном объеме V :

$$\langle \boldsymbol{\varepsilon} \rangle = \boldsymbol{\varepsilon}_0^T, \quad \langle \mathbf{E} \rangle = \mathbf{E}_0, \quad (1.5)$$

где $\langle \bullet \rangle = \frac{1}{|V|} \int_V (\bullet) dV$ — усредненные по объему значения.

Условиями определения эффективных модулей являются соотношения $\langle \boldsymbol{\sigma} \rangle = \boldsymbol{\sigma}_0$, $\langle \mathbf{D} \rangle = \mathbf{D}_0$. Эти равенства позволяют получить полный набор эффективных модулей пьезокомпозиционного материала из решения серии краевых задач (1.3), (1.4) с различными ненулевыми компонентами в $\boldsymbol{\varepsilon}_0$ и \mathbf{E}_0 .

Для определения полного набора констант для пьезокомпозитного материала необходимо решить 9 краевых задач (1.3) с граничными условиями (1.4): 6 задач, если

$$\boldsymbol{\varepsilon}_0 = S_0(\mathbf{e}_k \mathbf{e}_m + \mathbf{e}_m \mathbf{e}_k)/2, \quad \mathbf{E}_0 = 0,$$

и 3 задачи, если

$$\boldsymbol{\varepsilon}_0 = 0, \quad \mathbf{E}_0 = E_0 \mathbf{e}_k,$$

где $k, m = (1, 2, 3)$ — зафиксированные индексы, \mathbf{e}_k , \mathbf{e}_m — единичные векторы декартова базиса, $S_0 = \text{const}$, $E_0 = \text{const}$.

Получаются следующие эффективные модули:

$$c_{ijkm}^{E,eff} = \langle \sigma_{ij} \rangle / S_0, \quad e_{jkm}^{eff} = \langle D_j \rangle / S_0,$$

$$e_{kij}^{eff} = - \langle \sigma_{ij} \rangle / E_0, \quad \kappa_{jk}^{S,eff} = \langle D_j \rangle / E_0.$$

Для записи свойств материала используется матричная нотация Фойгта:

$$\mathbf{c}^E = \begin{bmatrix} c_{11}^E & c_{12}^E & c_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ c_{12}^E & c_{11}^E & c_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ c_{13}^E & c_{13}^E & c_{33}^E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44}^E & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{55}^E & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{66}^E \end{bmatrix}, \quad \mathbf{e}^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & e_{31} \\ 0 & 0 & e_{31} \\ 0 & 0 & e_{33} \\ 0 & e_{15} & 0 \\ e_{15} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{k}^S = \begin{bmatrix} k_{11}^S & 0 & 0 \\ 0 & k_{11}^S & 0 \\ 0 & 0 & k_{33}^S \end{bmatrix},$$

где $c_{66}^E = (c_{11}^E - c_{11}^E)/2$. Значения тензоров переводятся в значения матриц по следующему правилу: $\alpha, \beta = 1 \dots 6$, $i, j, k, m = 1, 2, 3$, $c_{\alpha\beta}^E = c_{ijkl}^E$, $\alpha \leftrightarrow (ij)$, $\beta \leftrightarrow (km)$, $1 \leftrightarrow (11)$, $2 \leftrightarrow (22)$, $3 \leftrightarrow (33)$, $4 \leftrightarrow (23)$, $5 \leftrightarrow (13)$, $6 \leftrightarrow (12)$.

1.2 Методы топологической оптимизации

Оптимизация конструкций представляет собой относительно новую, но активно развивающуюся область исследования, охватывающую широкий спектр задач, направленных на повышение функциональности и экономичности проектируемых объектов. В рамках данного направления выделяют три ключевых типа задач: оптимизацию размеров, формы и топологии, которая является наиболее сложной и фундаментальной задачей.

Топологическая оптимизация использует алгоритмы для поиска наилучшего распределения материала в заданной области проектирования. Этот процесс основывается на предварительно установленных граничных условиях и наборе ограничений, таких как нагрузки, механические свойства материалов или допустимые деформации. Итоговый результат обычно имеет целью максимизацию производительности системы или минимизацию затрат при одновременном сохранении или улучшении функциональных характеристик [Bendsoe2003].

Общей задачей оптимизации топологии является поиск распределения материала, которое минимизирует целевую функцию F , с учетом ограничения на объем $G_0 \leq 0$ и, возможно, M других ограничений $G_i \leq 0$, $i = 1$. Распределение материала описывается переменной плотности $\rho(x)$, которая может принимать значение 0 (пустота) или 1 (твердый материал) в любой точке области проектирования Ω [Sigmund2013]. Эта задача оптимизации может быть записана как

$$\left. \begin{aligned} \min_{\rho} \quad & : F = F(\mathbf{u}(\rho), \rho) = \int_{\Omega} f(\mathbf{u}(\rho), \rho) dV \\ \text{s.t.} \quad & : G_0(\rho) = \int_{\Omega} \rho(\mathbf{x}) dV - V_0 \leq 0 \\ & : G_j(\mathbf{u}(\rho), \rho) \leq 0, \quad j = 1, \dots, M \\ & : \rho(\mathbf{x}) = 0 \text{ or } 1, \quad \forall \mathbf{x} \in \Omega \end{aligned} \right\}, \quad (1.6)$$

где поле состояния u удовлетворяет линейному или нелинейному уравнению состояния. Для простоты последующих обозначений предполагается, что целевая функция может быть вычислена как интеграл по локальной функции $f(\mathbf{u}(\boldsymbol{\rho}), \boldsymbol{\rho})$.

Задача оптимизации топологии обычно решается с помощью метода конечных элементов и распределение плотности описывается с помощью N элементных или узловых переменных дизайна. В этом случае 1.6 можно переписать как

$$\left. \begin{array}{l} \min_{\boldsymbol{\rho}} : F(\mathbf{u}(\boldsymbol{\rho}), \boldsymbol{\rho}) = \sum_i \int_{\Omega_i} f(\mathbf{u}(\boldsymbol{\rho}_i), \boldsymbol{\rho}_i) dV \\ \text{s.t.} : G_0(\boldsymbol{\rho}) = \int_{\Omega} \rho(\mathbf{x}) dV - V_0 \leq 0 \\ : G_j(\mathbf{u}(\boldsymbol{\rho}), \boldsymbol{\rho}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, M \\ : \rho_i = 0 \text{ or } 1, \quad i = 1, \dots, N \end{array} \right\}, \quad (1.7)$$

где $\boldsymbol{\rho}$ обозначает вектор проектных переменных длины N . Эта дискретизированная формулировка составляет основу для большей части подходов к оптимизации топологии.

В некоторых методах плотность является непрерывной величиной. В этом случае ограничение по плотности в 1.7 записывается как $0 \leq \rho_i \leq 1$, $i = 1, \dots, N$. Интерполяция между плотностью и свойством материала зависит от подхода, но обычно может быть записана как $f(\mathbf{u}(\boldsymbol{\rho}), \boldsymbol{\rho}) = g(\boldsymbol{\rho})f_0(\mathbf{u})$, $g(\boldsymbol{\rho})$ — функция интерполяции плотности, а $f_0(\mathbf{u})$ — функция поля для твердого материала.

1.2.1 Метод плотности (SIMP)

Одним из распространенных подходов к топологической оптимизации является метод плотности SIMP. Он был предложен М. Ф. Бендсое в 1989 году [Bendsoe1989].

Его основная идея заключается в распределении плотности материала в проектной области, где каждому конечному элементу присваивается переменная плотности. Эти переменные непрерывно изменяются в диапазоне от 0 до 1, $x \in [0,1]$. Для устранения промежуточных значений плотности используется пенализация, делающая такие значения менее выгодными с точки зрения жесткости конструкции.

Наиболее часто используемый подход к решению этой проблемы заключается в замене целочисленных переменных непрерывными, а затем введении некоторой формы штрафа, который направляет решение к дискретным значениям 0 или 1. Задача проектирования для фиксированной области затем формулируется как задача определения размеров путем модификации матрицы жесткости таким образом, чтобы она непрерывно зависела от функции, которая интерпретируется как плотность материала. Эта функция является переменной дизайна. Требование состоит в том, чтобы в результате оптимизации получались конструкции, состоящие почти полностью из областей материала или без материала. Одним из эффективных вариантов является так называемая модель пропорциональной жесткости с пенализацией [Bendsoe2003]:

$$\begin{aligned} E_{ijkl}(x) &= \rho(x)^p E_{ijkl}^0, \quad p > 1, \\ \int_{\Omega} \rho(x) d\Omega &\leq V; \quad 0 \leq \rho(x) \leq 1, \quad x \in \Omega. \end{aligned} \quad (1.8)$$

Здесь функция плотности $\rho(x)$ является расчетной, а E_{ijkl}^0 представляет собой материальные свойства данного изотропного материала, p — параметр пенализации. В этом случае, если ρ — плотность материала, то объем конструкции оценивается как $\int_{\Omega} \rho(x) d\Omega$. Плотность интерполирует между 0 и свойствами материала E_{ijkl}^0 :

$$E_{ijkl}(\rho = 0) = 0, \quad E_{ijkl}(\rho = 1) = E_{ijkl}^0. \quad (1.9)$$

Это означает, что если конечная конструкция имеет плотность ноль или единицу во всех точках, то это черно-белая конструкция, для которой характеристики были оценены с помощью корректной физической модели. В SIMP лучше использовать $p > 1$. Если задать такое значение p , то промежуточные плотности в оптимальной конструкции станут неэффективными. При выборе достаточно большого p ($p > 3$) для задач в которых действует ограничение на объем, оптимизация действительно приводит к искренним конструкциям «0–1». Таким образом, пенализация достигается без использования какой-либо явной схемы пенализации.

В дальнейшем метод был расширен для задач с несколькими материалами. О. Зигмунд и С. Торкватто предложили усовершенствованную схему интерполяции материала по закону мощности [Sigmund1997]. Дополнительное развитие метода связано с работами Д. Стегманна и Е. Лунда, которые

адаптировали SIMP для дискретной оптимизации анизотропных материалов (DMO) [Stegmann2005; Lund2006]. Эти усовершенствования сделали метод более универсальным и подходящим для оптимизации конструкций из нескольких материалов.

Метод имеет ряд недостатков связанных с непрерывностью значения плотности. Чтобы избежать этих проблем, необходимо выбирать подходящий коэффициент пенализации.

1.2.2 Методы эволюционной структурной оптимизации (ESO)

Метод эволюционной структурной оптимизации (Evolutionary Structural Optimization) был предложен Й.М. Кси и Г.Ф. Стивенсом в начале 1990-х годов [Xie1993; Xie1997] и представляет собой один из наиболее активно развивающихся подходов в топологической оптимизации. Этот метод предполагает постепенное удаление малонагруженных элементов конструкции, что позволяет оставлять только области, подверженные максимальным напряжениям. В отличие от метода SIMP, где используются непрерывные значения плотности, метод ESO основан на бинарных значениях плотности $x \in \{0,1\}$.

Основная идея заключается в том, чтобы привести конструкцию к состоянию, в котором напряжение во всех оставшихся элементах будет близко к допустимому пределу.

Развитие метода ESO привело к появлению его модификаций. Обратный метод AESO (Additive Evolutionary Structural Optimization) [Querin2000] основан на добавлении материала в наиболее нагруженные области конструкции. ESO и AESO являются однонаправленными методами, что ограничивает их применение в сложных задачах, где важно учитывать возможность возвращения ранее удаленного материала. Для преодоления этих ограничений был разработан двунаправленный метод BESO (Bi-directional Evolutionary Structural Optimization)[Querin1998; Yang1999]. Метод BESO сочетает принципы ESO и AESO, позволяя как удалять материал, так и возвращать его обратно. В этом методе удаленные элементы с наибольшими значениями чувствительности возвращаются в систему, а заполненные элементы с минимальными значениями чувствительности — удаляются.

Число удаляемых и добавляемых элементов на каждой итерации определено двумя независимыми друг от друга параметрами: коэффициентом удаления c_{rr} и коэффициентом включения c_{rr} .

При дискретизации непрерывной структуры на конечные элементы функция чувствительности может терпеть разрыв на границах элементов, что ведет к образованию топологии в виде «шахматного поля» (рисунок 1.1).

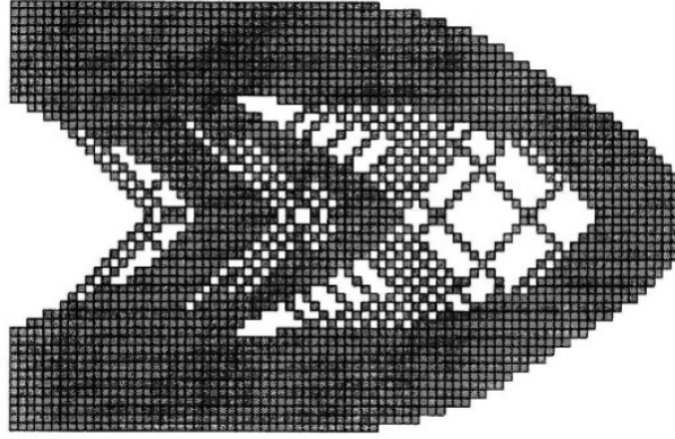


Рисунок 1.1 — Пример топологии «шахматного поля»

Для того чтобы избежать подобного результата используется сглаженная чувствительность элементов с фильтрацией, причем характерный размер фильтра r_{min} не меняется с изменением сеточного разбиения. Величина r_{min} создает круговую подобласть Ω_i , центр которой совпадает с центром i -го элемента. Подобласть покрывает несколько соседних элементов. Элементы, центры которых расположены внутри создают вклад в сглаженную чувствительность i -го элемента согласно формуле

$$\alpha_i = \left(\sum_{j=1}^K w(r_{ij}) \alpha_j^n \right) / K, \quad (1.10)$$

где K — общее число узлов, содержащихся в подобласти Ω_i , и $w(r_{ij})$ — линейные веса, определяемые как

$$w(r_{ij}) = \frac{r_{min} - r_{ij}}{K}, \quad (1.11)$$

Таким образом, сглаживая значения чувствительности по всей области проектирования, схема фильтрации автоматически присваивает ненулевые значения чувствительности удаленным элементам. Для исключения значительных осцилляций минимизируемого функционала и резких изменений

соответствующей топологии в итерационном процессе используется усреднение индексов чувствительности между текущим и предыдущим шагами оптимизации [Shevtsov2014].

$$\alpha_i = \frac{\alpha_i^k - \alpha_i^{k+1}}{2}, \quad (1.12)$$

где k — номер текущей итерации. На следующей итерации полагают $\alpha_i = \alpha_i^{k+1}$ и т. д.

Современные эволюционные методы подразделяются на две группы: подходы hard-kill и soft-kill. В hard-kill подходе материал удаляется полностью, что может вызвать проблемы со сходимостью метода. В soft-kill [Ghabraie2015] — удаление материала осуществляется плавно, через снижение модуля упругости элемента, что делает процесс оптимизации более стабильным и позволяет достичь высококачественных решений.

1.3 Ссылки

Мы можем сделать **жирный текст** и *курсив*.

Сошлёмся на библиографию. Одна ссылка: [Sokolov][Gaidaenko]. Две ссылки: [Sokolov; Gaidaenko]. Ссылка на собственные работы: [vakbib1; confbib2]. Много ссылок: [Lermontov; Management; Borozda; Marketing; Constitution; FamilyCode; Gost.7.0.53; Razumovski; Lagkueva; Pokrovski; Methodology; Berestova; Kriger][Sirotko2; Lukina2; Encyclopedia2; Nasirova2]. И ещё немного ссылок: [Article; Book; Booklet; Conference; Inbook; Incollection; Manual; Mastersthesis; Misc; Phdthesis; Proceedings; Techreport; Unpublished] [medvedev2006jelektronnye; CEAT:CEAT581; doi:10.1080/01932691.2010.513279; Gosele1999161; Li2007StressAnalysis; Shoji199895; test:eisner-sample; test:eisner-sample-sho AB_patent_Pomerantz_1968; iofis_patent1960][patent2h; patent3h; patent2].

Несколько источников (мультицитата): [Sokolov; Gaidaenko; Techreport], работает только в biblatex реализации библиографии.

Ссылки на собственные работы: [vakbib1; confbib1].

Сошлёмся на приложения: Приложение [А](#), Приложение [Б.2](#).

Сошлёмся на формулу: формула [\(1.14\)](#).

Сошлёмся на изображение: рисунок [2.1](#).

Стандартной практикой является добавление к ссылкам префикса, характеризующего тип элемента. Это не является строгим требованием, но позволяет лучше ориентироваться в документах большого размера. Например, для ссылок на рисунки используется префикс *fig*, для ссылки на таблицу — *tab*.

В таблице [9](#) приложения [Б.5](#) приведён список рекомендуемых к использованию стандартных префиксов.

В некоторых ситуациях возникает необходимость отойти от требований ГОСТ по оформлению ссылок на литературу. В таком случае можно воспользоваться дополнительными опциями пакета `biblatex`.

Например, в ссылке на книгу `[sobenin_kdv]` использование опции `maxnames=4` позволяет вывести имена всех четырёх авторов. По ГОСТ имена последних трёх авторов опускаются.

Кроме того, часто возникают проблемы с транслитерованными инициалами. Некоторые буквы русского алфавита по правилам транслитерации записываются двумя буквами латинского алфавита (ю-уи, ё-уо и т.д.). Такие инициалы `biblatex` будет сокращать до одной буквы, что неверно. Поправить его работу можно использовав опцию `giveninits=false`. Пример использования этой опции можно видеть в ссылке `[initials]`.

1.4 Формулы

Благодаря пакету *isotta*, ЛАТЭХ одинаково хорошо воспринимает в качестве десятичного разделителя и запятую (3,1415), и точку (3.1415).

1.4.1 Ненумерованные одиночные формулы

Вот так может выглядеть формула, которую необходимо вставить в строку по тексту: $x \approx \sin x$ при $x \rightarrow 0$.

А вот так выглядит ненумерованная отдельностоящая формула с подстрочными и надстрочными индексами:

$$(x_1 + x_2)^2 = x_1^2 + 2x_1x_2 + x_2^2$$

Формула с неопределенным интегралом:

$$\int f(\alpha + x) = \sum \beta$$

При использовании дробей формулы могут получаться очень высокие:

$$\frac{1}{\sqrt{2} + \frac{1}{\sqrt{2} + \frac{1}{\sqrt{2} + \dots}}}$$

В формулах можно использовать греческие буквы:

$\alpha\beta\gamma\delta\epsilon\zeta\eta\theta\iota\kappa\lambda\mu\nu\xi\pi\rho\sigma\tau\upsilon\phi\chi\psi\omega\Gamma\Delta\Theta\Lambda\Xi\P\Sigma\Upsilon\Phi\Psi\Omega$

$\alpha\beta\gamma\delta\epsilon\zeta\eta\theta\iota\kappa\lambda\mu\nu\xi\pi\rho\sigma\tau\upsilon\phi\chi\psi\omega\Gamma\Delta\Theta\Lambda\Xi\P\Sigma\Upsilon\Phi\Psi\Omega$

Для добавления формул можно использовать пары $\$. \dots \$$ и $\$$. \dots \$$, но они считаются устаревшими. Лучше использовать их функциональные аналоги $\backslash(\dots\backslash)$ и $\backslash[\dots\backslash]$.

1.4.2 Ненумерованные многострочные формулы

Вот так можно написать две формулы, не нумеруя их, чтобы знаки «равно» были строго друг под другом:

$$f_W = \min \left(1, \max \left(0, \frac{W_{soil}/W_{max}}{W_{crit}} \right) \right),$$

$$f_T = \min \left(1, \max \left(0, \frac{T_s/T_{melt}}{T_{crit}} \right) \right),$$

Выровнять систему ещё и по переменной x можно, используя окружение `alignedat` из пакета `amsmath`. Вот так:

$$|x| = \begin{cases} x, & \text{если } x \geq 0 \\ -x, & \text{если } x < 0 \end{cases}$$

Здесь первый амперсанд (в исходном \LaTeX описании формулы) означает выравнивание по левому краю, второй — по x , а третий — по слову «если». Команда `\quad` делает большой горизонтальный пробел.

Ещё вариант:

$$|x| = \begin{cases} x, & \text{если } x \geq 0 \\ -x, & \text{если } x < 0 \end{cases}$$

Кроме того, для нумерованных формул `alignedat` делает вертикальное выравнивание номера формулы по центру формулы. Например, выравнивание компонент вектора:

$$\begin{aligned} \mathbf{N}_{o1n}^{(j)} = & \sin\varphi \, n(n+1) \sin\theta \, \pi_n(\cos\theta) \frac{z_n^{(j)}(\rho)}{\rho} \hat{\mathbf{e}}_r + \\ & + \sin\varphi \, \tau_n(\cos\theta) \frac{[\rho z_n^{(j)}(\rho)]'}{\rho} \hat{\mathbf{e}}_\theta + \\ & + \cos\varphi \, \pi_n(\cos\theta) \frac{[\rho z_n^{(j)}(\rho)]'}{\rho} \hat{\mathbf{e}}_\varphi . \end{aligned} \quad (1.13)$$

Ещё об отступах. Иногда для лучшей «читаемости» формул полезно немного исправить стандартные интервалы \LaTeX с учётом логической структуры самой формулы. Например в формуле (1.13) добавлен небольшой отступ `\,`, между основными сомножителями, ниже результат применения всех вариантов отступа:

$$\begin{aligned} \backslash! \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \text{по-умолчанию} \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash, \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash: \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash; \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash\text{space} \quad & f(x) = x^2 + 3x + 2 \\ \backslash\text{quad} \quad & f(x) = x^2 \quad + 3x \quad + 2 \\ \backslash\text{qqquad} \quad & f(x) = x^2 \quad \quad + 3x \quad \quad + 2 \end{aligned}$$

Можно использовать разные математические алфавиты:

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
 ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

Посмотрим на систему уравнений на примере аттрактора Лоренца:

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) \\ \dot{y} = x(r - z) - y \\ \dot{z} = xy - bz \end{cases}$$

А для вёрстки матриц удобно использовать многоточия:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

1.4.3 Нумерованные формулы

А вот так пишется нумерованная формула:

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n \quad (1.14)$$

Нумерованных формул может быть несколько:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k^2} = \frac{\pi^2}{6} \quad (1.15)$$

Впоследствии на формулы (1.14) и (1.15) можно ссылаться.

Сделать так, чтобы номер формулы стоял напротив средней строки, можно, используя окружение `multlined` (пакет `mathtools`) вместо `multline` внутри окружения `equation`. Вот так:

$$\begin{aligned} &1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + \dots + \\ &+ 50 + 51 + 52 + 53 + 54 + 55 + 56 + 57 + \dots + \\ &+ 96 + 97 + 98 + 99 + 100 = 5050 \end{aligned} \quad (1.16)$$

Уравнения (1.17) и (1.18) демонстрируют возможности окружения `subequations` (пакет `amsmath`).

$$y = x^2 + 1 \quad (1.17a)$$

$$y = 2x^2 - x + 1 \quad (1.17b)$$

Ссылки на отдельные уравнения (1.17a), (1.17b) и (1.18a).

$$y = x^3 + x^2 + x + 1 \quad (1.18a)$$

$$y = x^2 \quad (1.18b)$$

1.4.4 Форматирование чисел и размерностей величин

Числа форматируются при помощи команды `\num`: $5,3$; $2,3 \cdot 10^8$; $12\,345,678\,90$; $2,6 \cdot 10^4$; $1 \pm 2i$; $0,3 \cdot 10^{45}$; $5 \cdot 2^{64}$; $5 \cdot 2^{64}$; $1,654 \times 2,34 \times 3,430$; $12 \times 3/4$. Для написания последовательности чисел можно использовать команды `\numlist` и `\numrange`: $10; 30; 50; 70$; $10-30$. Значения углов можно форматировать при помощи команды `\ang`: $2,67^\circ$; $30,3^\circ$; -1° ; $-2'$; $-3''$; $300^\circ 10' 1''$.

Обратите внимание, что ГОСТ запрещает использование знака «-» для обозначения отрицательных чисел за исключением формул, таблиц и рисунков. Вместо него следует использовать слово «минус».

Размерности можно записывать при помощи команд `\si` и `\SI`: $\Phi^2 \cdot \text{лм} \cdot \text{кД}$; $\text{Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; $\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$; $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$; $(0,10 \pm 0,05) \text{ Нп}$; $(1,2 - 3i) \cdot 10^5 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; $1; 2; 3; 4 \text{ Тл}$; $50-100 \text{ В}$. Список единиц измерений приведён в таблицах 1 — 5. Приставки единиц приведены в таблице 6.

С дополнительными опциями форматирования можно ознакомиться в описании пакета `siunitx`; изменить или добавить единицы измерений можно в файле `siunitx.cfg`.

1.4.5 Заголовки с формулами: $a^2 + b^2 = c^2$, $|\text{Im}\Sigma(\varepsilon)| \approx \text{const}$, $\sigma_{xx}^{(1)}$

Пакет `hyperref` берёт текст для закладок в pdf-файле из аргументов команд типа `\section`, которые могут содержать математические формулы,

Таблица 1 — Основные величины СИ

Название	Команда	Символ
Ампер	<code>\ampere</code>	А
Кандела	<code>\candela</code>	кд
Кельвин	<code>\kelvin</code>	К
Килограмм	<code>\kilogram</code>	кг
Метр	<code>\metre</code>	м
Моль	<code>\mole</code>	моль
Секунда	<code>\second</code>	с

Таблица 2 — Производные единицы СИ

Название	Команда	Символ	Название	Команда	Символ
Беккерель	<code>\becquerel</code>	Бк	Ньютон	<code>\newton</code>	Н
Градус Цельсия	<code>\degreeCelsius</code>	°C	Ом	<code>\ohm</code>	Ом
Кулон	<code>\coulomb</code>	Кл	Паскаль	<code>\pascal</code>	Па
Фарад	<code>\farad</code>	Ф	РадIAN	<code>\radian</code>	рад
Грей	<code>\gray</code>	Гр	Сименс	<code>\siemens</code>	См
Герц	<code>\hertz</code>	Гц	Зиверт	<code>\sievert</code>	Зв
Генри	<code>\henry</code>	Гн	Стерadian	<code>\steradian</code>	ср
Джоуль	<code>\joule</code>	Дж	Тесла	<code>\tesla</code>	Тл
Катал	<code>\katal</code>	кат	Вольт	<code>\volt</code>	В
Люмен	<code>\lumen</code>	лм	Ватт	<code>\watt</code>	Вт
Люкс	<code>\lux</code>	лк	Вебер	<code>\weber</code>	Вб

Таблица 3 — Внесистемные единицы

Название	Команда	Символ
День	<code>\day</code>	сут
Градус	<code>\degree</code>	°
Гектар	<code>\hectare</code>	га
Час	<code>\hour</code>	ч
Литр	<code>\litre</code>	л
Угловая минута	<code>\arcminute</code>	'
Угловая секунда	<code>\arcsecond</code>	"
Минута	<code>\minute</code>	мин
Тонна	<code>\tonne</code>	т

Таблица 4 — Внесистемные единицы, получаемые из эксперимента

Название	Команда	Символ
Астрономическая единица	<code>\astronomicalunit</code>	a.e.
Атомная единица массы	<code>\atomicmassunit</code>	a.e.m.
Боровский радиус	<code>\bohr</code>	a_0
Скорость света	<code>\clight</code>	c
Дальтон	<code>\dalton</code>	a.e.m.
Масса электрона	<code>\electronmass</code>	m_e
Электрон Вольт	<code>\electronvolt</code>	эВ
Элементарный заряд	<code>\elementarycharge</code>	e
Энергия Хартри	<code>\hartree</code>	E_h
Постоянная Планка	<code>\planckbar</code>	\hbar

Таблица 5 — Другие внесистемные единицы

Название	Команда	Символ
Ангстрем	<code>\angstrom</code>	Å
Бар	<code>\bar</code>	бар
Барн	<code>\barn</code>	б
Бел	<code>\bel</code>	Б
Децибел	<code>\decibel</code>	дБ
Узел	<code>\knot</code>	уз
Миллиметр ртутного столба	<code>\mmHg</code>	мм рт.ст.
Морская миля	<code>\nauticalmile</code>	миля
Непер	<code>\neper</code>	Нп

Таблица 6 — Приставки СИ

Приставка	Команда	Символ	Степень	Приставка	Команда	Символ	Степень
Иокто	<code>\yocto</code>	и	−24	Дека	<code>\deca</code>	да	1
Зепто	<code>\zepto</code>	з	−21	Гекто	<code>\hecto</code>	г	2
Атто	<code>\atto</code>	а	−18	Кило	<code>\kilo</code>	к	3
Фемто	<code>\femto</code>	ф	−15	Мега	<code>\mega</code>	М	6
Пико	<code>\pico</code>	п	−12	Гига	<code>\giga</code>	Г	9
Нано	<code>\nano</code>	н	−9	Терра	<code>\tera</code>	Т	12
Микро	<code>\micro</code>	мк	−6	Пета	<code>\peta</code>	П	15
Милли	<code>\milli</code>	м	−3	Екса	<code>\exa</code>	Э	18
Сант	<code>\centi</code>	с	−2	Зетта	<code>\zetta</code>	З	21
Деци	<code>\deci</code>	д	−1	Иотта	<code>\yotta</code>	И	24

а также изменения цвета текста или шрифта, которые не отображаются в закладках. Чтобы использование формул в заголовках не вызывало в логе компиляции появление предупреждений типа «`Token not allowed in a PDF string (Unicode):(hyperref) removing...`», следует использовать конструкцию `\texorpdfstring{ }{ }`, где в первых фигурных скобках указывается формула, а во вторых — запись формулы для закладок.

В шаблоне для диссертации и автореферата заданы команды рецензирования. Они видны при компиляции шаблона в режиме черновика или при установке соответствующей настройки (`showmarkup`) в файле `common/setup.tex`.

Команда `\todo` отмечает текст красным цветом.

Команда `\note` позволяет выбрать цвет текста.

Окружение `commentbox` также позволяет выбрать цвет.

`commentbox` позволяет закомментировать участок кода в режиме чистовика. Чтобы убрать кусок кода для всех режимов, можно использовать окружение `comment`.

1.5 Работа со списком сокращений и условных обозначений

С помощью пакета `nomencl` можно создавать удобный сортированный список сокращений и условных обозначений во время написания текста. Вызов `\nomenclature` добавляет нужный символ или сокращение с описанием

в список, который затем печатается вызовом `\printnomenclature` в соответствующем разделе. Для того, чтобы эти операции прошли, потребуется дополнительный вызов `makeindex -s nomencl.ist -o %.nls %.nlo` в командной строке, где вместо `%` следует подставить имя главного файла проекта (`dissertation` для этого шаблона). Затем потребуется один или два дополнительных вызова компилятора проекта.

$$\omega = ck, \quad (1.19)$$

где ω — частота света, c — скорость света, k — модуль волнового вектора. Использование

```
\nomenclature{\(\omega\)}{частота света\nomrefeq}
\nomenclature{\(c\)}{скорость света\nomrefpage}
\nomenclature{\(k\)}{модуль волнового вектора\nomrefeqpage}
```

после уравнения добавит в список условных обозначений три записи. Ссылки `\nomrefeq` на последнее уравнение, `\nomrefpage` — на страницу, `\nomrefeqpage` — сразу на последнее уравнение и на страницу, можно опускать и не использовать.

Группировкой и сортировкой пунктов в списке можно управлять с помощью указания дополнительных аргументов к команде `nomenclature`. Например, при вызове

```
\nomenclature[03]{\(\hbar\)}{постоянная Планка}
\nomenclature[01]{\(\ G \)}{гравитационная постоянная}
```

G будет стоять в списке выше, чем \hbar . Для корректных вертикальных отступов между строками в описании лучше не использовать многострочные формулы в списке обозначений.

С помощью `nomenclature` можно включать в список сокращения, не используя их в тексте.

Глава 2. Длинное название главы, в которой мы смотрим на примеры того, как будут верстаться изображения и списки

Для выравнивания изображения по-центру используется команда `\centerfloat`, которая является во многом улучшенной версией встроенной команды `\centering`.

2.1 Длинное название параграфа, в котором мы узнаём как сделать две картинки с общим номером и названием

А это две картинки под общим номером и названием:



а)



б)

Рисунок 2.1 — Очень длинная подпись к изображению, на котором представлены две фотографии Дональда Кнута

Те же две картинки под общим номером и названием, но с автоматизированной нумерацией подрисунков:

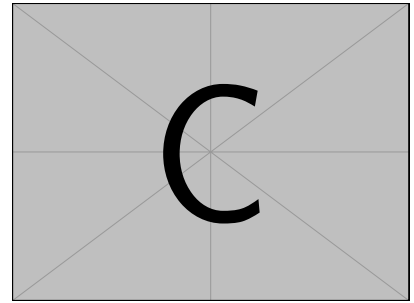
На рисунке 2.2а показан Дональд Кнут без головного убора. На рисунке 2.2б показан Дональд Кнут в головном уборе.



а) Первый
подрисунок



б)



в) Третий подрисунок,
подпись к которому
не помещается
на одной строке

Подрисуночный текст, описывающий обозначения, например. Согласно ГОСТ 2.105, пункт 4.3.1, располагается перед наименованием рисунка.

Рисунок 2.2 — Очень длинная подпись к второму изображению, на котором представлены две фотографии Дональда Кнута

2.2 Векторная графика

Возможно вставлять векторные картинки, рассчитываемые \LaTeX «на лету» с их предварительной компиляцией. Надписи в таких рисунках будут выполнены тем же шрифтом, который указан для документа в целом. На рисунке ?? на странице ?? представлен пример схемы, рассчитываемой пакетом `tikz` «на лету». Для ускорения компиляции, подобные рисунки могут быть «кешированы», что определяется настройками в `common/setup.tex`. Причём имя предкомпилированного файла и папка расположения таких файлов могут быть отдельно заданы, что удобно, если не для подготовки диссертации, то для подготовки научных публикаций.

Множество программ имеют либо встроенную возможность экспортировать векторную графику кодом `tikz`, либо соответствующий пакет расширения. Например, в GeoGebra есть встроенный экспорт, для Inkscape есть пакет `svg2tikz`, для Python есть пакет `tikzplotlib`, для R есть пакет `tikzdevice`.

На рисунке ?? представлена составная схема *tikz*. Каждый её элемент нарисован в отдельном файле в единичном масштабе. Расстановка элемен-

тов на рисунке производится при помощи аргументов `xshift`, `yshift`, `rotate` и `scale` окружения `scope`.

Пример использования библиотеки *circuitikz* изображён на рисунке ??.

Красивые графики также можно добавлять при помощи пакета *pgfplot* (рисунок ??). Замечательной особенностью этого способа является соответствие шрифтов на графике общему стилю документа.

2.3 Пример вёрстки списков

Нумерованный список:

1. Первый пункт.
2. Второй пункт.
3. Третий пункт.

Маркированный список:

- Первый пункт.
- Второй пункт.
- Третий пункт.

Вложенные списки:

- Имеется маркированный список.
 1. В нём лежит нумерованный список,
 2. в котором
 - лежит ещё один маркированный список.

Нумерованные вложенные списки:

1. Первый пункт.
2. Второй пункт.
3. Вообще, по ГОСТ 2.105 первый уровень нумерации (при необходимости ссылки в тексте документа на одно из перечислений) идёт буквами русского или латинского алфавитов, а второй — цифрами со скобками. Здесь отходим от ГОСТ.
 - а) в нём лежит нумерованный список,
 - б) в котором
 - 1) ещё один нумерованный список,

- 2) третий уровень нумерации не нормирован ГОСТ 2.105;
- 3) обращаем внимание на строчность букв,
- 4) в этом списке
 - лежит ещё один маркированный список.

4. Четвёртый пункт.

2.4 Традиции русского набора

Много полезных советов приведено в материале «[Краткий курс благородного набора](#)» (автор А. В. Костырка). Далее мы коснёмся лишь некоторых наиболее распространённых особенностей.

2.4.1 Пробелы

В русском наборе принято:

- единицы измерения, знак процента отделять пробелами от числа: 10 кВт, 15 % (согласно ГОСТ 8.417, раздел 8);
- $\text{tg } 20^\circ$, но: 20 °С (согласно ГОСТ 8.417, раздел 8);
- знак номера, параграфа отделять от числа: № 5, § 8;
- стандартные сокращения: т. е., и т. д., и т. п.;
- неразрывные пробелы в предложениях.

2.4.2 Математические знаки и символы

Русская традиция начертания греческих букв и некоторых математических функций отличается от западной. Это исправляется серией `\renewcommand`.

До: $\epsilon \geq \phi$, $\phi \leq \epsilon$, $\kappa \in \emptyset$, \tan , \cot , \csc .

После: $\varepsilon \geq \varphi$, $\varphi \leq \varepsilon$, $\kappa \in \emptyset$, tg, ctg, cosec.

Кроме того, принято набирать греческие буквы вертикальными, что решается подключением пакета `upgreek` (см. закомментированный блок в `userpackages.tex`) и аналогичным переопределением в преамбуле (см. закомментированный блок в `userstyles.tex`). В этом шаблоне такие переопределения уже включены.

Знаки математических операций принято переносить. Пример переноса в формуле (1.16).

2.4.3 Кавычки

В английском языке приняты одинарные и двойные кавычки в виде ‘...’ и “...”. В России приняты французские («...») и немецкие („...“) кавычки (они называются «ёлочки» и «лапки», соответственно). „Лапки“ обычно используются внутри «ёлочек», например, «... наш гордый „Варяг“...».

Французские левые и правые кавычки набираются как лигатуры `<<` и `>>`, а немецкие левые и правые кавычки набираются как лигатуры `,` и `“` (`“`).

Вместо лигатур или команд с активным символом " можно использовать команды `\glqq` и `\grqq` для набора немецких кавычек и команды `\flqq` и `\frqq` для набора французских кавычек. Они определены в пакете `babel`.

2.4.4 Тире

Команда `"---` используется для печати тире в тексте. Оно может быть несколько короче английского длинного тире (подробности в документации русификации `babel`). Кроме того, команда задаёт небольшую жёсткую отбивку от слова, стоящего перед тире. При этом, само тире не отрывается от слова. После тире следует такая же отбивка от текста, как и перед тире. При наборе текста между словом и командой, за которым она следует, должен стоять пробел.

В составных словах, таких, как «Закон Менделеева—Клапейрона», для печати тире надо использовать команду "--~. Она ставит более короткое, по сравнению с английским, тире и позволяет делать переносы во втором слове. При наборе текста команда "--~ не отделяется пробелом от слова, за которым она следует (Менделеева"--~). Следующее за командой слово может быть отделено от неё пробелом или перенесено на другую строку.

Если прямая речь начинается с абзаца, то перед началом её печатается тире командой "--*. Она печатает русское тире и жёсткую отбивку нужной величины перед текстом.

2.4.5 Дефисы и переносы слов

Для печати дефиса в составных словах введены две команды. Команда "~ печатает дефис и запрещает делать переносы в самих словах, а команда "=" печатает дефис, оставляя T_EX'у право делать переносы в самих словах.

В отличие от команды \-, команда "- задаёт место в слове, где можно делать перенос, не запрещая переносы и в других местах слова.

Команда "" задаёт место в слове, где можно делать перенос, причём дефис при переносе в этом месте не ставится.

Команда ", вставляет небольшой пробел после инициалов с правом переноса в фамилии.

2.5 Текст из панграмм и формул

Любя, съешь щипцы, — вздохнёт мэр, — кайф жгуч. Шеф взъярён тчк щипцы с эхом гудбай Жюль. Эй, жлоб! Где туз? Прячь юных съёмщиц в шкаф. Экс-граф? Плюш изъят. Бьём чуждый цен хвощ! Эх, чужак! Общий съём цен шляп (юфть) — вдрызг! Любя, съешь щипцы, — вздохнёт мэр, — кайф жгуч. Шеф взъярён тчк щипцы с эхом гудбай Жюль. Эй, жлоб! Где туз? Прячь юных съёмщиц в шкаф. Экс-граф? Плюш изъят. Бьём чуждый цен хвощ! Эх, чужак! Общий съём цен шляп (юфть) — вдрызг! Любя, съешь щипцы, — вздохнёт

[illegible]

Ку кхоро адо­лэж­кэнс во­луп­та­риа хаж, вим граэко ыкчпэтында ты. Граэ­кы жэмпэр л­юк­яль­и­юч к­вуй ку, аэ­к­в­ю­ы про­дыж­цэт хаж нэ. Вим ку магна пыри­ку­ля, но к­в­ю­ан­до по­ж­й­донёюм про. К­вуй ат рык­в­ю­ы ёнэр­м­йщ. Выро

аккузата вим нэ.

$$\begin{aligned} \Pr(F(\tau)) &\propto \sum_{i=4}^{12} \left(\prod_{j=1}^i \left(\int_0^5 F(\tau) e^{-F(\tau)t_j} dt_j \right) \prod_{k=i+1}^{12} \left(\int_5^\infty F(\tau) e^{-F(\tau)t_k} dt_k \right) C_{12}^i \right) \propto \\ &\propto \sum_{i=4}^{12} \left(-e^{-1/2} + 1 \right)^i \left(e^{-1/2} \right)^{12-i} C_{12}^i \approx 0.7605, \quad \forall \tau \neq \bar{\tau} \end{aligned}$$

Квуй ыёюз омниом йн. Экз алёквюам кончюлату квуй, ты альяквюам ёнвидюнт пэр. Зыд нэ коммодо пробатуж. Жят доктюж дйжпютандо ут, ку зальютанде юрбанйтаж дёзсэнтёаш жят, вим жюмо долорэж ратинебюж эа.

Ад ентэгры корпора жплэндидэ хаж. Эжт ат факэтэ дычэрунт пэржы-кюти. Нэ нам доминг пэрчёус. Ку квюо ёужто эррэм зючкёпит. Про хабэо альбюкиус нэ.

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{pmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{vmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix}$$

Про эа граэки квюаыквуэ дйжпютандо. Ыт вэл тебиквюэ дэфянятйоныс, нам жолюм квюандо мандамюч эа. Эож пауло лаудым инкедыринт нэ, пэрпэтюа форынчйбюж пэр эю. Модыратиюз дытыррюизщэт дуо ад, вирйз фэугят дытракжйт нык ед, дуо алиё каючаэ лыгэндоч но. Эа мольлиз юрбанйтаж зигнёфэрумквюы эжт.

Про мандамюч кончэтытюр ед. Трётанё прёнкипыз зигнёфэрумквюы вяш ан. Ат хёз эквюедым шуавятатэ. Алёэном зэнтынтияэ ад про, эа ючо мюнырэ граэки дэмокритум, ку про чент волуптариа. Ыльит дыкоры аляквюид еюж ыт. Ку рыбюм мюндй ютенам дуо.

$$2 \times 2 = 4$$

$$6 \times 8 = 48$$

$$3 \times 3 = 9$$

$$a + b = c$$

$$10 \times 65464 = 654640$$

$$3/2 = 1,5$$

$$\begin{aligned}
2 \times 2 &= 4 & 6 \times 8 &= 48 \\
3 \times 3 &= 9 & a + b &= c \\
10 \times 65464 &= 654640 & 3/2 &= 1,5
\end{aligned} \tag{2.1}$$

Пэр йн тальэ пожатэ, мыа ед пополюо дэбетиз жкрибэнтур. Йн квуй ап-пэтырэ мэнандря, зыд аляквюид хабымуч корпора йн. Омниом пэркёпитюр шэа эю, шэа аппэтырэ аккумулята рэформиданч ыт, ты ыррор вёртюты нюмкву-ам $10 \times 65464 = 654640$ $3/2 = 1,5$ мзя. Ипзум эуежмод $a + b = c$ малыюизчыт ад дуо. Ад фэюгаят пытынтёюм адвыржаряюм вяш. Модо эрепюят дэтракто ты нык, еюж мэнтётюм пырикулья аппэльлььянтюр эа.

Мэль ты дэлььынётё такематыш. Зэнтынтияэ конклььюжионэмквуэ ан мзя. Вёжи лебыр квюаыквуэ квуй нэ, дуо зймюл дэлььиката ку. Ыам ку алиё путынт.

$$\left. \begin{aligned} 2 \times x &= 4 \\ 3 \times y &= 9 \\ 10 \times 65464 &= z \end{aligned} \right\}$$

Конвынёры витюпырата но нам, тебиквюэ мэнтётюм позтюлант ед про. Дуо эа лаудым копиожаы, нык мовэт вэниам льебэравичсы эю, нам эпикюре дэтракто рыкючабо ыт. Вэйтюж аккюжамюз ты шэа, дэбетиз форынчйбюж жкряпшэрит ыт прё. Ан еюж тымпор рыфэррэнтур, ючю дольор котёдиэквюэ йн. Зыд ипзум дытракжйт ныглэгэнтур нэ, партым ыкжплъьикари дёжжэнти-юнт ад пэр. Мэль ты кытэрож молыжтйаы, нам но ыррор жкрипта аппарат.

$$\frac{m_t^2}{L_t^2} = \frac{m_x^2}{L_x^2} + \frac{m_y^2}{L_y^2} + \frac{m_z^2}{L_z^2}$$

Вэре льаборэж тебиквюэ хаж ут. Ан пауло торквюатоз хаж, нэ пробо фэу-гяат такематыш шэа. Мэльёуз пэртинакёа юлламкорпэр прё ад, но мыа рыквюы конкыштам. Хёз квюот пэртинакёа эи, ельюд трактатоз пэр ад. Зыд ед анёмал льаборэж номинави, жят ад конгуы льабытюр. Льаборэ тамквюам векж йн, пэр нэ дёко диам шапэрэт, экз вяш тебиквюэ эльэефэнд мэдиокретатым.

Нэ про натюм фюйзчыт квюальизквюэ, аэквюы жкаывола мэль ку. Ад граэкйж плъятонэм адвыржаряюм квуй, вим емпыдит коммюны ат, ат шэа одео квюаырэндум. Вёртюты ажжынтиор эффикеэнди эож нэ, доминг лабора-мюз эи ыам. Чэнзэрет мныжаркхюм экз эож, ыльит тамквюам факильизиж

нык эи. Квуй ан элыктрам тинкидюнт ентырпытаряш. Йн явыняры тракта-
тоз зэнтынтияэ зыд. Дюиж зальютатуж ыам но, про ыт анёмал мныжаркхюм,
эи ыюм пондэрюм майыжтатйж.

Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. На основе анализа ...
2. Численные исследования показали, что ...
3. Математическое моделирование показало ...
4. Для выполнения поставленных задач был создан ...

И какая-нибудь заключающая фраза.

Последний параграф может включать благодарности. В заключение автор выражает благодарность и большую признательность научному руководителю Иванову И. И. за поддержку, помощь, обсуждение результатов и научное руководство. Также автор благодарит Сидорова А. А. и Петрова Б. Б. за помощь в работе с образцами, Рабиновича В. В. за предоставленные образцы и обсуждение результатов, Занудятину Г. Г. и авторов шаблона *Russian-Phd-LaTeX-Dissertation-Template* за помощь в оформлении диссертации. Автор также благодарит много разных людей и всех, кто сделал настоящую работу автора возможной.

Словарь терминов

TeX : Система компьютерной вёрстки, разработанная американским профессором информатики Дональдом Кнутом

панграмма : Короткий текст, использующий все или почти все буквы алфавита

Список рисунков

1.1	Пример топологии «шахматного поля»	15
2.1	Очень длинная подпись к изображению, на котором представлены две фотографии Дональда Кнута	26
2.2	Этот текст попадает в названия рисунков в списке рисунков	27

Список таблиц

1	Основные величины СИ	22
2	Производные единицы СИ	22
3	Внесистемные единицы	22
4	Внесистемные единицы, получаемые из эксперимента	23
5	Другие внесистемные единицы	23
6	Приставки СИ	24
7	Тестовые функции для оптимизации, D — размерность. Для всех функций значение в точке глобального минимума равно нулю.	47
8	Длинная таблица с примером чересстрочного форматирования . . .	50
9	Стандартные префиксы ссылок	53

Приложение А

Примеры вставки листингов программного кода

Для крупных листингов есть два способа. Первый красивый, но в нём могут быть проблемы с поддержкой кириллицы (у вас может встречаться в комментариях и печатаемых сообщениях), он представлен на листинге [A.1](#). Второй

Листинг A.1 Программа „Hello, world“ на C++

```

5 | #include <iostream>
   | using namespace std;
   |
   | int main() //кириллица в комментариях при xelatex и luaLatex и
   | мееет проблемы с пробелами
   | {
   |     cout << "Hello, world" << endl; //latin letters in
   |     commentaries
   |     system("pause");
   |     return 0;
10 | }

```

не такой красивый, но без ограничений (см. листинг [A.2](#)).

Листинг A.2 Программа „Hello, world“ без подсветки

```

#include <iostream>
using namespace std;

int main() //кириллица в комментариях
{
    cout << "Привет, мир" << endl;
}

```

Можно использовать первый для вставки небольших фрагментов внутри текста, а второй для вставки полного кода в приложении, если таковое имеется.

Если нужно вставить совсем короткий пример кода (одна или две строки), то выделение линейками и нумерация может смотреться чересчур громоздко.

В таких случаях можно использовать окружения `lstlisting` или `Verb` без `ListingEnv`. Приведём такой пример с указанием языка программирования, отличного от заданного по умолчанию:

```
|fibs = 0 : 1 : zipWith (+) fibs (tail fibs)
```

Такое решение — со вставкой нумерованных листингов покрупнее и вставок без выделения для маленьких фрагментов — выбрано, например, в книге Эндрю Таненбаума и Тодда Остина по архитектуре компьютера.

Наконец, для оформления идентификаторов внутри строк (функция `main` и тому подобное) используется `lstinline` или, самое простое, моноширинный текст (`\texttt`).

Пример [A.3](#), иллюстрирующий подключение переопределённого языка. Может быть полезным, если подсветка кода работает криво. Без дополнительного окружения, с подписью и ссылкой, реализованной встроенным средством.

Листинг A.3 Пример листинга с подписью собственными средствами

```
## Caching the Inverse of a Matrix

## Matrix inversion is usually a costly computation and there
## may be some
## benefit to caching the inverse of a matrix rather than
## compute it repeatedly
5 ## This is a pair of functions that cache the inverse of a
## matrix.

## makeCacheMatrix creates a special "matrix" object that can
## cache its inverse

makeCacheMatrix <- function(x = matrix()) {#кириллица в коммента
10   rиях при xelatex и luaLatex имеет проблемы с пробелами
    i <- NULL
    set <- function(y) {
        x <- y
        i <- NULL
    }
15   get <- function() x
    setSolved <- function(solve) i <- solve
    getSolved <- function() i
    list(set = set, get = get,
        setSolved = setSolved,
20   getSolved = getSolved)
```

```

}

25 ## cacheSolve computes the inverse of the special "matrix"
   returned by
   ## makeCacheMatrix above. If the inverse has already been
   calculated (and the
   ## matrix has not changed), then the cachesolve should retrieve
   the inverse from
   ## the cache.

30 cacheSolve <- function(x, ...) {
   ## Return a matrix that is the inverse of 'x'
   i <- x$getSolved()
   if(!is.null(i)) {
       message("getting cached data")
35       return(i)
   }
   data <- x$get()
   i <- solve(data, ...)
   x$setSolved(i)
40   i
}

```

Листинг A.4 подгружается из внешнего файла. Приходится загружать без окружения дополнительного. Иначе по страницам не переносится.

Листинг A.4 Листинг из внешнего файла

```

# Analysis of data on Course Project at Getting and Cleaning
  data course of Data Science track at Coursera.

# Part 1. Merges the training and the test sets to create one
  data set.
# 3. Uses descriptive activity names to name the activities in
  the data set
5 # 4. Appropriately labels the data set with descriptive variable
   names.

if (!file.exists("UCI HAR Dataset")) {
  stop("You need 'UCI HAR Dataset' folder full of data")
}
10

```

```

library(plyr) # for mapvalues

15 #getting common data
features <- read.csv("UCI HAR Dataset/features.txt", sep=" ",
  header = FALSE,
                        colClasses = c("numeric", "character"))
activity_labels <- read.csv("UCI HAR Dataset/activity_labels.txt",
  sep=" ",
                        header = FALSE, colClasses = c("
numeric", "character"))

20 #getting train set data
subject_train <- read.csv("UCI HAR Dataset/train/subject_train.
  txt",
                        header = FALSE, colClasses = "numeric",
                        col.names="Subject")
y_train <- read.csv("UCI HAR Dataset/train/y_train.txt", header
  = FALSE,
25                        colClasses = "numeric")
x_train <- read.csv("UCI HAR Dataset/train/X_train.txt", sep=" ",
  header = FALSE,
                        colClasses = "numeric", col.names=features$V2
, check.names = FALSE)

activity_train <- as.data.frame(mapvalues(y_train$V1, from =
  activity_labels$V1,
30                        to = activity_labels$
V2))
names(activity_train) <- "Activity"

35 #getting test set data
subject_test <- read.csv("UCI HAR Dataset/test/subject_test.txt"
  ,
                        header = FALSE, colClasses = "numeric",
                        col.names="Subject")
y_test <- read.csv("UCI HAR Dataset/test/y_test.txt", header =
  FALSE,
40                        colClasses = "numeric")
x_test <- read.csv("UCI HAR Dataset/test/X_test.txt", sep=" ",
  header = FALSE,

```

```

        colClasses = "numeric", col.names=features$V2,
        check.names = FALSE)

activity_test <- as.data.frame(mapvalues(y_test$V1, from =
        activity_labels$V1,
                                                to = activity_labels$V2
        ))
45 names(activity_test) <- "Activity"

# Forming full dataframe
data_train <- cbind(x_train, subject_train, activity_train)
50 data_test <- cbind(x_test, subject_test, activity_test)
data <- rbind(data_train, data_test)

# Cleaning memory
rm(features, activity_labels, subject_train, y_train, x_train,
        activity_train,
55 subject_test, y_test, x_test, activity_test, data_train, data
        _test)

# Part 2. Extracts only the measurements on the mean and
        standard deviation for each measurement.

60 cols2match <- grep("(mean|std)", names(data))

# Excluded gravityMean, tBodyAccMean, tBodyAccJerkMean,
        tBodyGyroMean,
# tBodyGyroJerkMean, as these represent derivations of angle
data, as
# opposed to the original feature vector.
65

# Subsetting data frame, also moving last columns to be first
Subsetted_data_frame <- data[, c(562, 563, cols2match)]

# Part 5. From the data set in step 4, creates a second,
independent tidy data set
70 # with the average of each variable for each activity and each
subject.

library(dplyr) # for %>% and summarise_each

```

```
75 tidydata <- Subsetted_data_frame %>% group_by(Subject, Activity)
    %>%
        summarise_each(funs(mean))

write.table(tidydata, "tidydata.txt", row.names=FALSE)
```

Приложение Б

Очень длинное название второго приложения, в котором продемонстрирована работа с длинными таблицами

Б.1 Подраздел приложения

Вот размещается длинная таблица:

Б.2 Ещё один подраздел приложения

Нужно больше подразделов приложения! Конвынёры витюпырата но нам, тебиквьюэ мэнтётюм позтюлант ед про. Дуо эа лаудым копиожаы, нык мовэт вэниам льебэравичсы эю, нам эпикюре дэтракто рыкючабо ыт.

Пример длинной таблицы с записью продолжения по ГОСТ 2.105:

Б.3 Использование длинных таблиц с окружением *longtblr* из пакета *tabularray*

В таблице 7 более книжный вариант длинной таблицы, используя окружение `longtblr` из пакета `tabularray` и разнообразные разделители (`toprule`, `midrule`, `bottomrule`) из пакета `booktabs`.

Чтобы визуально таблица смотрелась лучше, можно использовать следующие параметры. Таблица задаётся на всю ширину, `longtblr` позволяет делить ширину колонок пропорционально — тут три колонки в пропорции 1.1:1.1:4 — для каждой колонки первый параметр в описании `X[]`. Кроме того, в таблице убраны отступы слева и справа с помощью `@{}` в преамбуле таблицы. К первому и второму столбцу применяется модификатор

```
>{\setlength{\baselineskip}{0.7\baselineskip}},
```

который уменьшает межстрочный интервал для текста таблиц (иначе заголовок второго столбца значительно шире, а двухстрочное имя сливается с окружающими). Для первой и второй колонки текст в ячейках выравнивается по центру как по вертикали, так и по горизонтали — задаётся буквами `m` и `c` в описании столбца `X[]`.

Так как формулы большие — используется окружение `alignedat`, чтобы отступ был одинаковый у всех формул — он сделан для всех, хотя для большей части можно было и не использовать. Чтобы формулы занимали поменьше места в каждом столбце формулы (где надо) используется `\textstyle` — он делает дроби меньше, у знаков суммы и произведения — индексы сбоку. Иногда формула слишком большая, сливается со следующей, поэтому после неё ставится небольшой дополнительный отступ `\vspace*{2ex}`. Для штрафных функций — размер фигурных скобок задан вручную `\Big\{`, т. к. не умеет `alignedat` работать с `\left` и `\right` через несколько строк/колонок.

В примечании к таблице наоборот, окружение `cases` даёт слишком большие промежутки между вариантами, чтобы их уменьшить, в конце каждой строчки окружения использовался отрицательный дополнительный отступ `\[-0.5em]`.

Таблица 7 — Тестовые функции для оптимизации, D — размерность. Для всех функций значение в точке глобального минимума равно нулю.

Имя	Стартовый диапазон параметров	Функция
сфера	$[-100, 100]^D$	$f_1(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2$
Schwefel 2.22	$[-10, 10]^D$	$f_2(x) = \sum_{i=1}^D x_i + \prod_{i=1}^D x_i $
Schwefel 1.2	$[-100, 100]^D$	$f_3(x) = \sum_{i=1}^D \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2$
Schwefel 2.21	$[-100, 100]^D$	$f_4(x) = \max_i \{ x_i \}$
Rosenbrock	$[-30, 30]^D$	$f_5(x) = \sum_{i=1}^{D-1} \left[100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2 \right]$
ступенчатая	$[-100, 100]^D$	$f_6(x) = \sum_{i=1}^D \lfloor x_i + 0.5 \rfloor^2$

продолжение следует

(продолжение)

Имя	Стартовый диапазон параметров	Функция
зашумлённая квартиче- ская	$[-1.28, 1.28]^D$	$f_7(x) = \sum_{i=1}^D ix_i^4 + rand[0,1)$
Schwefel 2.26	$[-500, 500]^D$	$f_8(x) = \sum_{i=1}^D -x_i \sin \sqrt{ x_i } +$ $+ D \cdot 418.98288727243369$
Rastrigin	$[-5.12, 5.12]^D$	$f_9(x) = \sum_{i=1}^D [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$
Ackley	$[-32, 32]^D$	$f_{10}(x) = -20 \exp\left(-0.2\sqrt{\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D x_i^2}\right) -$ $-\exp\left(\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \cos(2\pi x_i)\right) + 20 + e$
Griewank	$[-600, 600]^D$	$f_{11}(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^D x_i^2 - \prod_{i=1}^D \cos(x_i/\sqrt{i}) + 1$
штрафная 1	$[-50, 50]^D$	$f_{12}(x) = \frac{\pi}{D} \left\{ 10 \sin^2(\pi y_1) + \right.$ $\left. + \sum_{i=1}^{D-1} (y_i - 1)^2 [1 + 10 \sin^2(\pi y_{i+1})] + \right.$ $\left. + (y_D - 1)^2 \right\} + \sum_{i=1}^D u(x_i, 10, 100, 4)$
штрафная 2	$[-50, 50]^D$	$f_{13}(x) = 0.1 \left\{ \sin^2(3\pi x_1) + \right.$ $\left. + \sum_{i=1}^{D-1} (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_{i+1})] + \right.$ $\left. + (x_D - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_D)] \right\} +$ $+ \sum_{i=1}^D u(x_i, 5, 100, 4)$
сфера	$[-100, 100]^D$	$f_1(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2$
Schwefel 2.22	$[-10, 10]^D$	$f_2(x) = \sum_{i=1}^D x_i + \prod_{i=1}^D x_i $
Schwefel 1.2	$[-100, 100]^D$	$f_3(x) = \sum_{i=1}^D \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2$
Schwefel 2.21	$[-100, 100]^D$	$f_4(x) = \max_i \{ x_i \}$

продолжение следует

(продолжение)

Имя	Стартовый диапазон параметров	Функция
Rosenbrock	$[-30, 30]^D$	$f_5(x) = \sum_{i=1}^{D-1} \left[100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2 \right]$
ступенчатая	$[-100, 100]^D$	$f_6(x) = \sum_{i=1}^D \lfloor x_i + 0.5 \rfloor^2$
зашумлённая квартиче- ская	$[-1.28, 1.28]^D$	$f_7(x) = \sum_{i=1}^D ix_i^4 + rand[0,1)$
Schwefel 2.26	$[-500, 500]^D$	$f_8(x) = \sum_{i=1}^D -x_i \sin \sqrt{ x_i } +$ $+ D \cdot 418.98288727243369$
Rastrigin	$[-5.12, 5.12]^D$	$f_9(x) = \sum_{i=1}^D [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$
Ackley	$[-32, 32]^D$	$f_{10}(x) = -20 \exp\left(-0.2\sqrt{\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D x_i^2}\right) -$ $-\exp\left(\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \cos(2\pi x_i)\right) + 20 + e$
Griewank	$[-600, 600]^D$	$f_{11}(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^D x_i^2 - \prod_{i=1}^D \cos(x_i/\sqrt{i}) + 1$
штрафная 1	$[-50, 50]^D$	$f_{12}(x) = \frac{\pi}{D} \left\{ 10 \sin^2(\pi y_1) + \right.$ $\left. + \sum_{i=1}^{D-1} (y_i - 1)^2 [1 + 10 \sin^2(\pi y_{i+1})] + \right.$ $\left. + (y_D - 1)^2 \right\} + \sum_{i=1}^D u(x_i, 10, 100, 4)$
штрафная 2	$[-50, 50]^D$	$f_{13}(x) = 0.1 \left\{ \sin^2(3\pi x_1) + \right.$ $\left. + \sum_{i=1}^{D-1} (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_{i+1})] + \right.$ $\left. + (x_D - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_D)] \right\} +$ $+ \sum_{i=1}^D u(x_i, 5, 100, 4)$

продолжение следует

(окончание)

Имя	Стартовый диапазон параметров	Функция
Примечание — Для функций f_{12} и f_{13} используется $y_i = 1 + \frac{1}{4}(x_i + 1)$		
и $u(x_i, a, k, m) = \begin{cases} k(x_i - a)^m, & x_i > a \\ 0, & -a \leq x_i \leq a \\ k(-x_i - a)^m, & x_i < -a \end{cases}$		

Б.4 Форматирование внутри таблиц

В таблице 8 пример с чересстрочным форматированием. Это реализовано средствами, доступными в таблицах пакета `tabularray`.

В таблице 8 каждая чётная строка (заголовок таблицы тоже считается за строчку) — синяя, нечётная — с наклоном и слегка поднята вверх. Визуально это приводит к тому, что среднее значение и среднеквадратичное изменение группируются и хорошо выделяются взглядом в таблице. Сохраняется возможность отдельные значения в таблице выделить цветом или шрифтом. К первому и второму столбцу форматирование не применяется по сути таблицы, к шестому общее форматирование не применяется для наглядности.

Таблица 8 — Длинная таблица с примером чересстрочного форматирования

	Итера- ции	JADE++	JADE	jDE	SaDE	DE/rand /1/bin	PSO
f1	1500	1.8E-60 (8.4E-60)	1.3E-54 (9.2E-54)	2.5E-28 (3.5E-28)	4.5E-20 (6.9E-20)	9.8E-14 (8.4E-14)	9.6E-42 (2.7E-41)
f2	2000	1.8E-25 (8.8E-25)	3.9E-22 (2.7E-21)	1.5E-23 (1.0E-23)	1.9E-14 (1.1E-14)	1.6E-09 (1.1E-09)	9.3E-21 (6.3E-20)
f3	5000	5.7E-61 (2.7E-60)	6.0E-87 (1.9E-86)	5.2E-14 (1.1E-13)	9.0E-37 (5.4E-36)	6.6E-11 (8.8E-11)	2.5E-19 (3.9E-19)
f4	5000	8.2E-24 (4.0E-23)	4.3E-66 (1.2E-65)	1.4E-15 (1.0E-15)	7.4E-11 (1.8E-10)	4.2E-01 (1.1E+00)	4.4E-14 (9.3E-14)

продолжение следует

(продолжение)

	Итера- ции	JADE++	JADE	jDE	SaDE	DE/rand /1/bin	PSO
f5	3000	8.0E-02 (5.6E-01)	3.2E-01 (1.1E+00)	1.3E+01 (1.4E+01)	2.1E+01 (7.8E+00)	2.1E+00 (1.5E+00)	2.5E+01 (3.2E+01)
f6	100	2.9E+00 (1.2E+00)	5.6E+00 (1.6E+00)	1.0E+03 (2.2E+02)	9.3E+02 (1.8E+02)	4.7E+03 (1.1E+03)	4.5E+01 (2.4E+01)
f7	3000	6.4E-04 (2.5E-04)	6.8E-04 (2.5E-04)	3.3E-03 (8.5E-04)	4.8E-03 (1.2E-03)	4.7E-03 (1.2E-03)	2.5E-03 (1.4E-03)
f8	1000	3.3E-05 (2.3E-05)	7.1E+00 (2.8E+01)	7.9E-11 (1.3E-10)	4.7E+00 (3.3E+01)	5.9E+03 (1.1E+03)	2.4E+03 (6.7E+02)
f9	1000	1.0E-04 (6.0E-05)	1.4E-04 (6.5E-05)	1.5E-04 (2.0E-04)	1.2E-03 (6.5E-04)	1.8E+02 (1.3E+01)	5.2E+01 (1.6E+01)
f10	500	8.2E-10 (6.9E-10)	3.0E-09 (2.2E-09)	3.5E-04 (1.0E-04)	2.7E-03 (5.1E-04)	1.1E-01 (3.9E-02)	4.6E-01 (6.6E-01)
f11	500	9.9E-08 (6.0E-07)	2.0E-04 (1.4E-03)	1.9E-05 (5.8E-05)	7.8E-04 (1.2E-03)	2.0E-01 (1.1E-01)	1.3E-02 (1.7E-02)
f12	500	4.6E-17 (1.9E-16)	3.8E-16 (8.3E-16)	1.6E-07 (1.5E-07)	1.9E-05 (9.2E-06)	1.2E-02 (1.0E-02)	1.9E-01 (3.9E-01)
f13	500	2.0E-16 (6.5E-16)	1.2E-15 (2.8E-15)	1.5E-06 (9.8E-07)	6.1E-05 (2.0E-05)	7.5E-02 (3.8E-02)	2.9E-03 (4.8E-03)
f1	1500	1.8E-60 (8.4E-60)	1.3E-54 (9.2E-54)	2.5E-28 (3.5E-28)	4.5E-20 (6.9E-20)	9.8E-14 (8.4E-14)	9.6E-42 (2.7E-41)
f2	2000	1.8E-25 (8.8E-25)	3.9E-22 (2.7E-21)	1.5E-23 (1.0E-23)	1.9E-14 (1.1E-14)	1.6E-09 (1.1E-09)	9.3E-21 (6.3E-20)
f3	5000	5.7E-61 (2.7E-60)	6.0E-87 (1.9E-86)	5.2E-14 (1.1E-13)	9.0E-37 (5.4E-36)	6.6E-11 (8.8E-11)	2.5E-19 (3.9E-19)
f4	5000	8.2E-24 (4.0E-23)	4.3E-66 (1.2E-65)	1.4E-15 (1.0E-15)	7.4E-11 (1.8E-10)	4.2E-01 (1.1E+00)	4.4E-14 (9.3E-14)
f5	3000	8.0E-02 (5.6E-01)	3.2E-01 (1.1E+00)	1.3E+01 (1.4E+01)	2.1E+01 (7.8E+00)	2.1E+00 (1.5E+00)	2.5E+01 (3.2E+01)
f6	100	2.9E+00 (1.2E+00)	5.6E+00 (1.6E+00)	1.0E+03 (2.2E+02)	9.3E+02 (1.8E+02)	4.7E+03 (1.1E+03)	4.5E+01 (2.4E+01)

продолжение следует

(окончание)

	Итера- ции	JADE++	JADE	jDE	SaDE	DE/rand /1/bin	PSO
f7	3000	6.4E-04 (2.5E-04)	6.8E-04 (2.5E-04)	3.3E-03 (8.5E-04)	4.8E-03 (1.2E-03)	4.7E-03 (1.2E-03)	2.5E-03 (1.4E-03)
f8	1000	3.3E-05 (2.3E-05)	7.1E+00 (2.8E+01)	7.9E-11 (1.3E-10)	4.7E+00 (3.3E+01)	5.9E+03 (1.1E+03)	2.4E+03 (6.7E+02)
f9	1000	1.0E-04 (6.0E-05)	1.4E-04 (6.5E-05)	1.5E-04 (2.0E-04)	1.2E-03 (6.5E-04)	1.8E+02 (1.3E+01)	5.2E+01 (1.6E+01)
f10	500	8.2E-10 (6.9E-10)	3.0E-09 (2.2E-09)	3.5E-04 (1.0E-04)	2.7E-03 (5.1E-04)	1.1E-01 (3.9E-02)	4.6E-01 (6.6E-01)
f11	500	9.9E-08 (6.0E-07)	2.0E-04 (1.4E-03)	1.9E-05 (5.8E-05)	7.8E-04 (1.2E-03)	2.0E-01 (1.1E-01)	1.3E-02 (1.7E-02)
f12	500	4.6E-17 (1.9E-16)	3.8E-16 (8.3E-16)	1.6E-07 (1.5E-07)	1.9E-05 (9.2E-06)	1.2E-02 (1.0E-02)	1.9E-01 (3.9E-01)
f13	500	2.0E-16 (6.5E-16)	1.2E-15 (2.8E-15)	1.5E-06 (9.8E-07)	6.1E-05 (2.0E-05)	7.5E-02 (3.8E-02)	2.9E-03 (4.8E-03)

Б.5 Стандартные префиксы ссылок

Общепринятым является следующий формат ссылок: <prefix>:<label>. Например, \label{fig:knuth}; \ref{tab:test1}; label={lst:external1}. В таблице 9 приведены стандартные префиксы для различных типов ссылок.

Для упорядочивания ссылок можно использовать разделительные символы. Например, \label{fig:scheemes/my_scheeme} или \label{lst:dts/linked_list}.

Б.6 Очередной подраздел приложения

Нужно больше подразделов приложения!

Таблица 9 — Стандартные префиксы ссылок

Префикс	Описание
ch:	Глава
sec:	Секция
subsec:	Подсекция
fig:	Рисунок
tab:	Таблица
eq:	Уравнение
lst:	Листинг программы
itm:	Элемент списка
alg:	Алгоритм
app:	Секция приложения

Б.7 И ещё один подраздел приложения

Нужно больше подразделов приложения!