федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Институт информационных и вычислительных технологий
Кафедра управления и интеллектуальных технологий

Отчёт по лабораторной работе №1
По дисциплине «Управление в больших системах»
«Синтез больших систем управления. Распределение задач по узлам управления»

Выполнил студент: Михайловский М. Ю.
Группа: А-03-21
Вариант: 5
Проверили: Новиков В. Н, Обычайко Д. С.

Москва 2024

Содержание

1 Постановка задачи

Имеется I задач, которые должны быть решены последовательно друг за другом. Для их решения имеется J узлов. Затраты и время решения i-ой задачи на j-ом узле заданы соответственно матрицами стоимости затрат $C = [c_{ij}]$ и временных затрат $T = [t_{ij}]$.

$$C = \begin{bmatrix} 4{,}5 & 7 & 2 & 2 \\ 5 & 8 & 1 & 3 \\ 5{,}5 & 9 & 6 & 2 \\ 6 & 10 & 7 & 1 \\ 6{,}5 & 7 & 3 & 1 \end{bmatrix}, \; T = \begin{bmatrix} 4{,}5 & 3 & 2 & 9 \\ 5 & 6 & 5 & 10 \\ 5{,}5 & 7 & 6 & 11 \\ 6 & 8 & 7 & 12 \\ 6{,}5 & 9 & 8 & 5 \end{bmatrix} \tag{1}$$

Требуется минимизировать суммарную стоимость затрат при заданном ограничении на суммарные временные затраты $T_з = 25$. Для записи оптимизационной задачи используем x_{ij}:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i\text{-ая задача решается на } j\text{-ом узле} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}.$$

Тогда задача оптимизации примет вид:

$$\begin{cases} \sum\limits_{i=1}^{I} \sum\limits_{j=1}^{J} c_{ij} x_{ij} \to \min \\ \sum\limits_{i=1}^{I} \sum\limits_{j=1}^{J} t_{ij} x_{ij} \le T_з \\ \sum\limits_{j=1}^{J} x_{ij} = 1, \forall i : i = \overline{1, I} \end{cases} \tag{2}$$

Для проведения оптимизации будет написана программа с пользовательским интерфейсом для ввода исходных данных.

2 Алгоритмы решения задачи

Решать задачу мы будем в несколько этапов. Сначала над матрицами затрат будут проведены две процедуры оптимизации, которые исключат заведомо неоптимальные узлы для использования.

Качественно алгоритмы также представлены в приложении.

2.1 Первая оптимизация

Оптимизация проводится построчно, пусть алгоритм находится на i-ой строке. Фиксируется номер узла s, на котором стоимость затрат наименьшая:

$$s = \arg\min_j c_{ij}$$

Затем, исключаются те элементы строки, которые удовлетворяют условию (3). При чём ровно одно из этих неравенств может выполняться нестрого.

$$\begin{aligned} c_{ij} &> c_{is} \\ t_{ij} &> t_{is} \end{aligned} \tag{3}$$

Так мы исключаем узлы, которые не лучше зафиксированного s-ого узла ни по стоимости, ни по времени затрат. В результате такой процедуры данные матрицы (1) преобразуются к следующему виду:

$$C^{(0)} = \begin{bmatrix} - & - & 2 & - \\ - & - & 1 & - \\ 5{,}5 & 9 & 6 & 2 \\ 6 & 10 & 7 & 1 \\ - & - & - & 1 \end{bmatrix}, \; T^{(0)} = \begin{bmatrix} - & - & 2 & - \\ - & - & 5 & - \\ 5{,}5 & 7 & 6 & 11 \\ 6 & 8 & 7 & 12 \\ - & - & - & 5 \end{bmatrix} \tag{4}$$

2.2 Вторая оптимизация

Вторая оптимизация так же как и первая проводится построчно. Будем рассматривать её для фиксированной i-ой строки. Эта оптимизация исключает те узлы, использование которых напрямую приводит к нарушению временного ограничения $T_з$.

Для этого используется вектор наименьших временных затрат на узлах системы:

$$T_{\min} = \left(\min_j t_{1j} \;\; \min_j t_{2j} \;\; \dots \;\; \min_j t_{Ij} \right)^{\mathsf{T}}$$

То есть теоретически наименьшее время решения всех I задач будет равно:

$$T_{\text{теор.мин}} = \|T_{\min}\|_1 = \sum_{i=1}^{I} T_{\min\, i}$$

Тогда для данной i-ой строки j-ый элемент исключается если выполняется условие (5). Это означает, что при решении i-ой задачи на j-ом узле, в любом случае будет нарушено временное ограничение $T_{\text{з}}$.

$$T_{\text{теор.мин}} - T_{\min\, i} + t_{ij} > T_{\text{з}} \tag{5}$$

В результате такой оптимизации матрицы (4) приобретают следующий вид:

$$C^{(1)} = \begin{bmatrix} - & - & 2 & - \\ - & - & 1 & - \\ 5{,}5 & 9 & 6 & - \\ 6 & - & 7 & - \\ - & - & - & 1 \end{bmatrix}, \; T^{(1)} = \begin{bmatrix} - & - & 2 & - \\ - & - & 5 & - \\ 5{,}5 & 7 & 6 & - \\ 6 & - & 7 & - \\ - & - & - & 5 \end{bmatrix} \tag{6}$$

В результате в каждой i-ой строке остаётся некоторое допустимое множество узлов для использования $J_{\text{доп}\, i} \subseteq J$.

2.3 Оптимизация методом ветвления

В самом начале фиксируются два различных решения задачи, доставляющие минимумы суммарным стоимостям затрат $C_{\min}$ и временным затратам $T_{\min}$.

$$C_{\min} = \left(\min_j c_{1j} \;\; \min_j c_{2j} \;\; \dots \;\; \min_j c_{Ij} \right)^{\mathsf{T}}$$
$$T_{\min} = \left(\min_j t_{1j} \;\; \min_j t_{2j} \;\; \dots \;\; \min_j t_{Ij} \right)^{\mathsf{T}}$$

Для них рассчитываем теоретические минимумы. Этими двумя метриками и будем определять показатели каждой вершины дерева в методе ветвления.

$$C_{\text{теор мин}} = \|C_{\min}\|_1 = 15{,}5, \; T_{\text{теор мин}} = \|T_{\min}\|_1 = 23{,}5.$$

Соотнесём им корень дерева v^0. Пусть корень дерева будет на нулевом уровне $l = 0$. Тогда ему будут смежны вершины v_j^1, $j \in J_{\text{доп}\, i}$, которые будут на первом уровне $l = 1$.

И введём вектор номеров узлов соответствующих вершинам, которые со-

ставляют путь до вершины $v^l_{j_l}$:

$$J(v^l_{j_l}) = (j_1\ j_2\ \ldots\ j_l)^\intercal\ ,\ l \le J$$

Тогда на каждой строке матрицы i или уровне дерева l ($i = l$) будем проводить описанную далее процедуру.

1. Рассчитываем для вершин v^l_j, $j \in J_{\text{доп}\,1}$ метрики $\left\|C_{\text{метр j}}\right\|_1$, $\left\|T_{\text{метр }j}\right\|_1$. Здесь $C_{\text{метр j}}$ вектор, где первые l элементов берутся $J(v^l_j)$, все последующие элементы берутся $C_{\min}$. Метрика временных затрат $T_{\text{метр }j}$ определяется аналогично.

2. Сравниваем эти вершины по их метрикам. Исключаем из рассмотрения те вершины, для которых метрика временных затрат $T_{\text{метр }j} > T_{\text{з}}$. Из оставшихся вершин выбираем вершину с наименьшей метрикой затрат стоимости $C_{\text{метр j}}$.

3. Вершины следующего уровня v^{l+1}_j, $j \in J_{\text{доп}\,1}$ делаем смежными выбранной вершине v^l_j.

В результате полученное дерево будет иметь вид представленный на рис. 2.1. В результате данного алгоритма на каждом уровне выбирается единственная вершина.

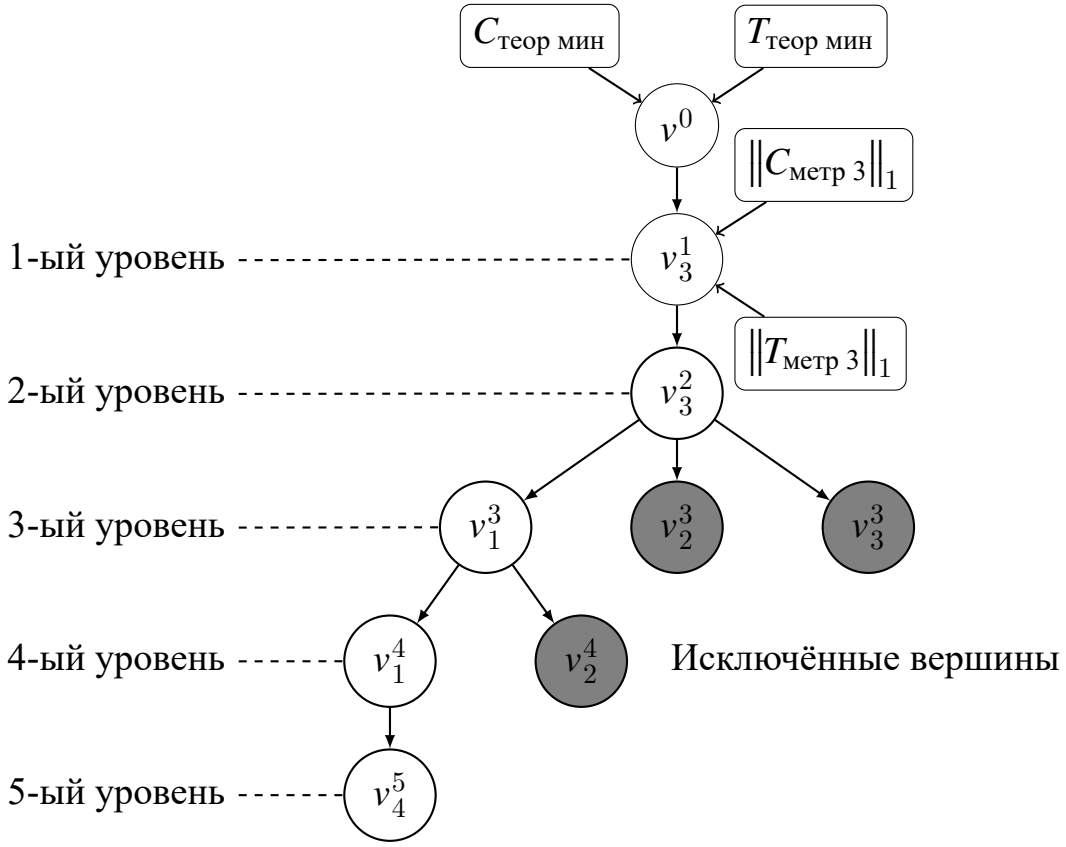


Рис. 2.1. Пример дерева ветвления

3 Реализация программы

Программа написана на языке python 3.11.3. Использованы следующие библиотеки: *numpy=2.1.1, PyQt6=6.7.1, PyQt6-Qt6=6.7.3, PyQt6_sip=13.8.0*.

3.1 Описание модулей программы

Программа состоит из 5 основных файлов. Опишем их основные назначения:

- *main.py* – основной модуль. Именно он запускает программу. В нём объявляются основные объекты классов из других модулей и привязываются функции для взаимодействия с интерфейсом программы
- *tableHandlers.py* – модуль, который содержит класс для работы с таблицами в интерфейсе. Он реализует такие основные функции, как чтение таблицы, установление стандартных значений в неё, проверка корректности введённых данных и перекрашивание ячеек в соответствии с заданной маской.
- *userInfo.py* – отдельный модуль, который сделан специально для считывания данных из таблицы с уведомлением пользователя об ошибках в введенных данных.
- *optimizer.py* – в этом модуле реализуется два класса решающих задачу оптимизации. **MatrixOptimizer** – класс, который занимается процедурами первой, второй оптимизации и метода ветвления. **Tree** – класс, который реализует граф в виде дерева.
- *main_window.ui* – файл с основной разметкой пользовательского интерфейса, сгенерированный в Qt Designer.

Листинги этих файлов приведены в приложении.

3.2 Пример работы программы

При запуске программы открывается следующее окно: рис. 3.1.

Здесь в интерактивных таблицах можно ввести исходные данные. При введении некорректных исходных данных показывает окно с предупреждением о неверности введённых данных, рис. 3.2. При проверке введенных данных выполняется несколько проверок, среди них:

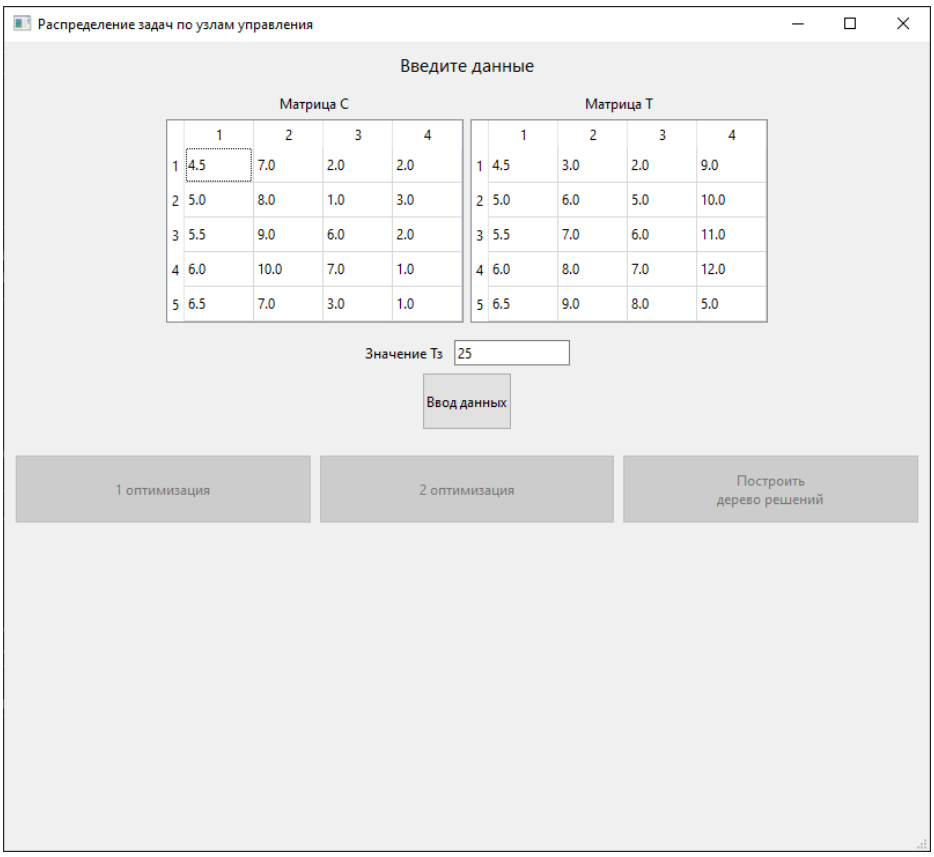


Рис. 3.1. Окно при запуске программы

- Неотрицательность данных;
- Введенные значения являются числами;
- Введенные данные не пустые;
- Введенное значение $T_з$ больше чем теоретический минимум $T_{\text{теор. мин}}$.

После нажатия кнопки ввод данных исходные значения фиксируются и становятся недоступными для редактирования, рис. 3.3. Становятся доступными кнопки первой и второй оптимизации и построения дерева решений.

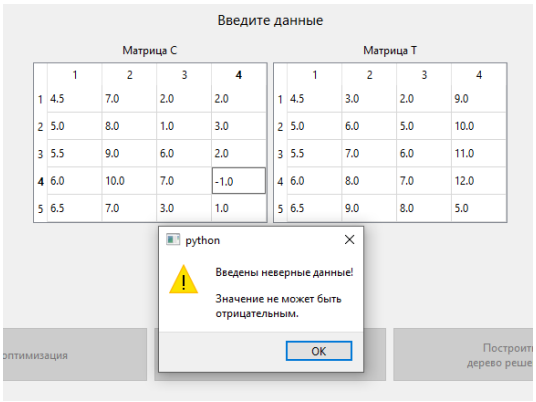


Рис. 3.2. Предупреждение о неверно введенных данных

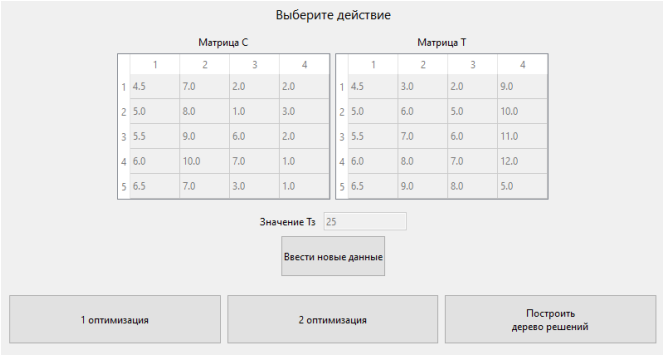


Рис. 3.3. После нажатия кнопки ввод данных

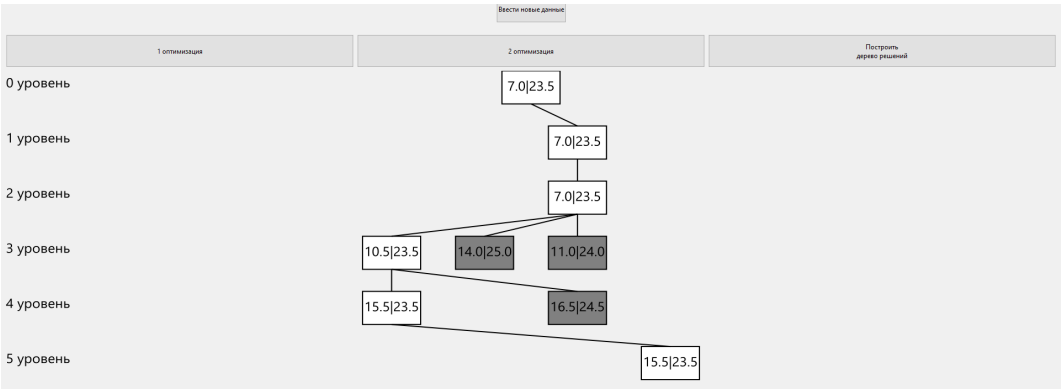
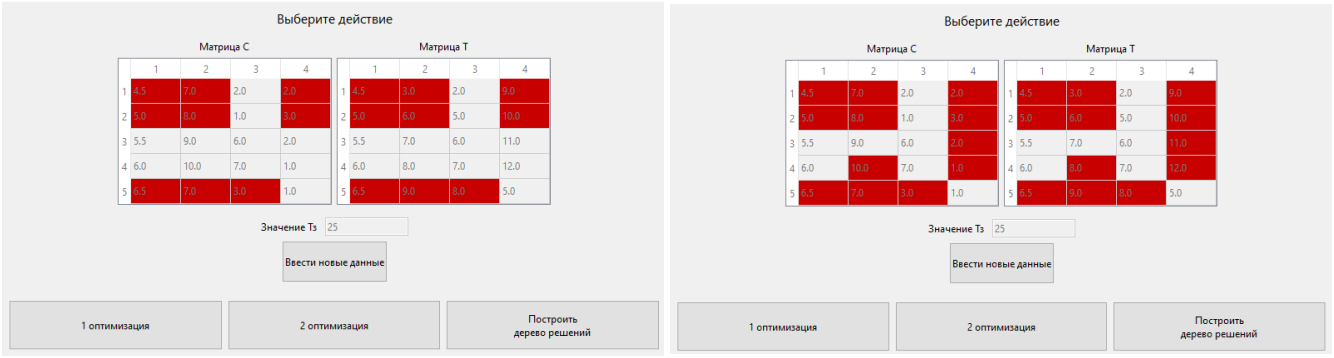


Рис. 3.5. Построенное дерево решений

При проведении любой из оптимизаций значения, которые были исключены в результате выполнения алгоритма окрашиваются в красный цвет, рис. 3.4.



а) б)

Рис. 3.4. Результаты проведения а) первой, б) второй после первой оптимизаций

Все три операции в нижней части окна можно производить в произвольном порядке. Оптимизации лишь упрощают дальнейшее построение дерева и не зависят друг от друга, поэтому могут даже и не использоваться.

При нажатии кнопки построения дерева решений происходит последний этап оптимизации и в нишней части окна выводится получившееся дерево, рис. 3.5.

В приложении выводится сформированное *svg*-изображение. Оно также сохраняется в папке с исходными файлами программы в файле *out.svg*. На изображении вершины дерева упорядочены в соответствии с номером узла, который

каждая из них представляют. Собрав последовательность узлов, которые не закрашены серым мы получаем ответ, на задачу оптимизации, данный в результате выполнения алгоритма.

В данном случае это последовательность узлов $3 - 3 - 1 - 1 - 4$.

Если необходимо провести исследование при других исходных данных, то пользователь может нажать кнопку *ввести новые данные* и вернуться к этапу, когда он только открыл программу. Построенное изображение дерева останется на экране, и будет обновлено, если пользователь построит новое дерево, в том числе при других исходных данных.

Приложение А. Блок-схемы алгоритмов

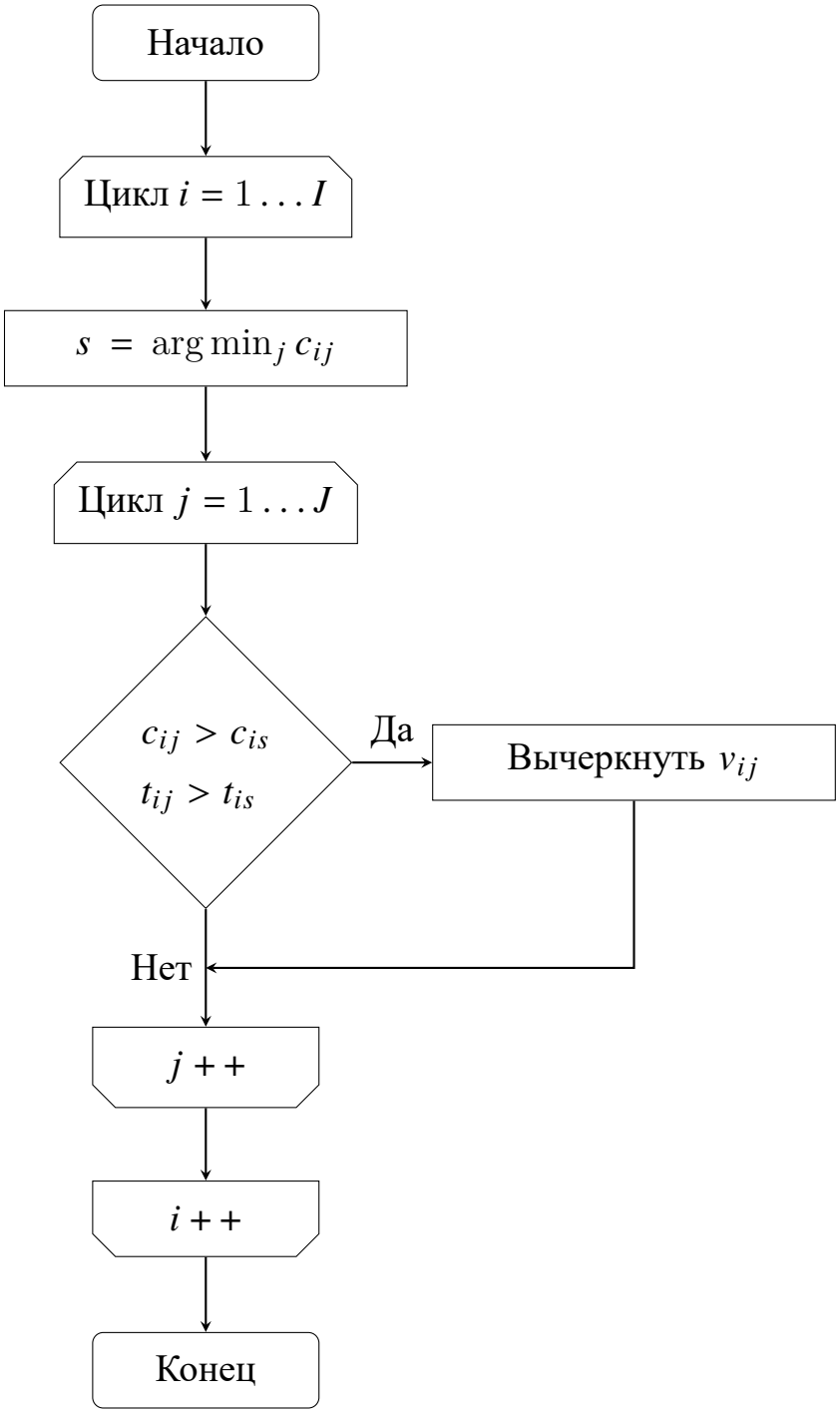


Рис. А.1. Первая оптимизация

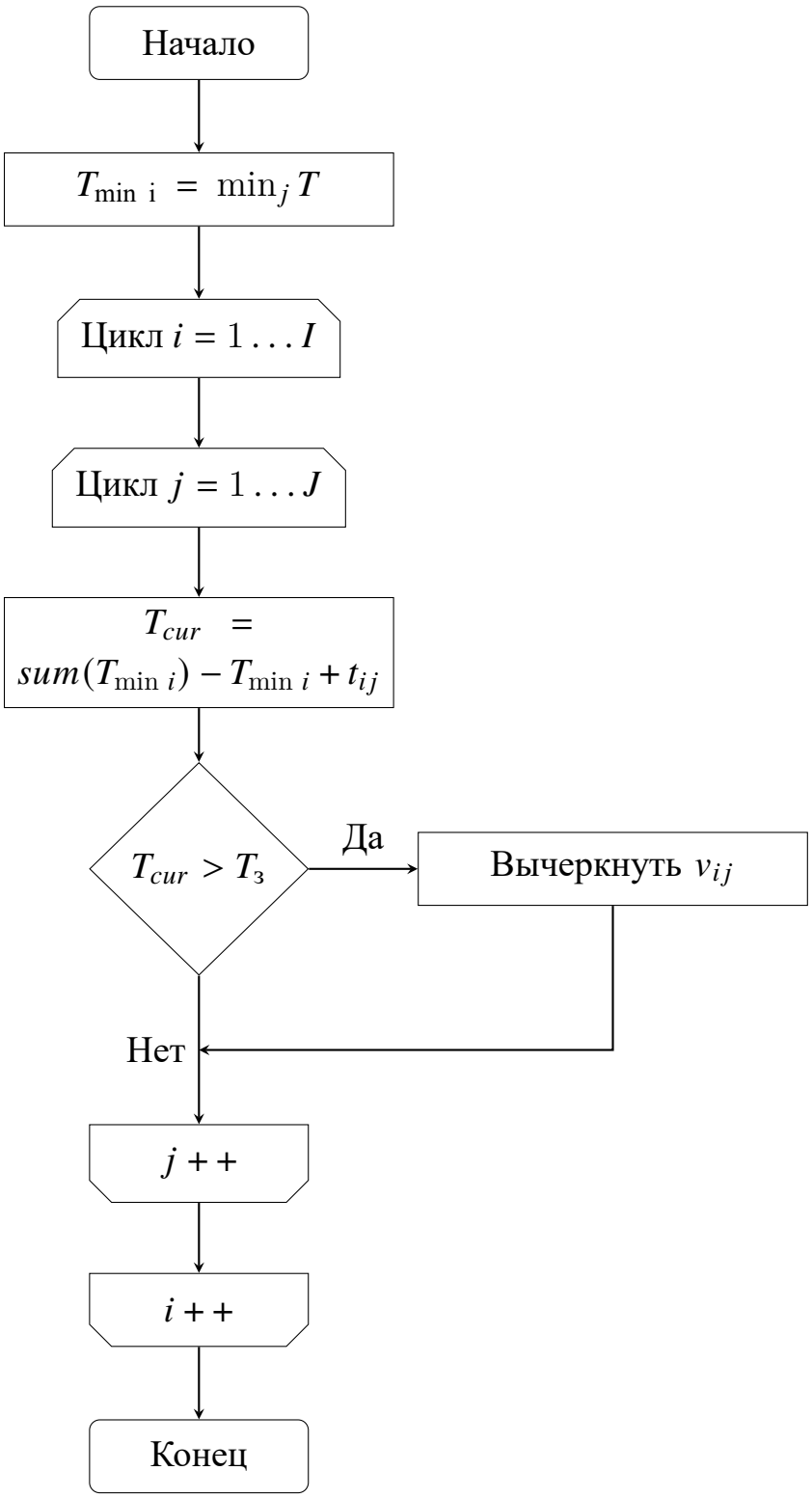


Рис. А.2. Вторая оптимизация

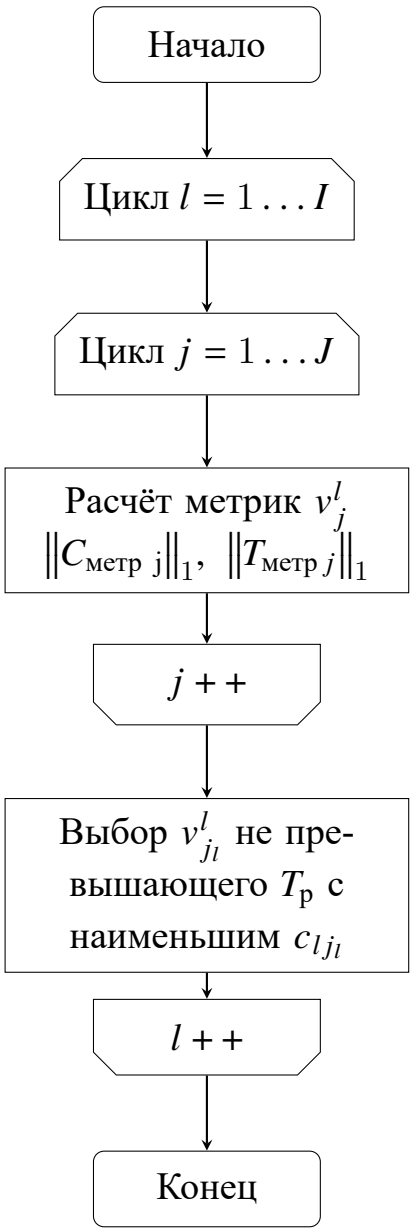


Рис. А.3. Метод ветвления

Приложение Б. Листинги файлов программы

Листинг 1. main.py

```
from PyQt6 import uic
from PyQt6.QtWidgets import QApplication, QPushButton, QLabel, QScrollArea
from PyQt6.QtCore import QRegularExpression
from PyQt6.QtSvg import QSvgRenderer
from PyQt6.QtGui import QRegularExpressionValidator, QPainter
from userInfo import DataGetter
import numpy as np

cMatrixDefault = np.array([
    [4.5, 7, 2, 2],
    [5, 8, 1, 3],
```

```
12      [5.5, 9, 6, 2],
13      [6, 10, 7, 1],
14      [6.5, 7, 3, 1]
15  ], dtype=np.float16)
16  tMatrixDefault = np.array([
17      [4.5, 3, 2, 9],
18      [5, 6, 5, 10],
19      [5.5, 7, 6, 11],
20      [6, 8, 7, 12],
21      [6.5, 9, 8, 5]
22  ], dtype=np.float16)
23  max_T_default = 25
24
25  def InputBtnClick(dataGetter: DataGetter, matrixOptimizer, inputBtn: QPushButton,
    ↪  instructionLabel: QLabel, actionBtns: list):
26      modes = {
27          'input': 'Ввод данных',
28          'reset': 'Ввести новые данные'
29      }
30      instructionTexts = {
31          'input': 'Введите данные',
32          'reset': 'Выберите действие'
33      }
34
35      if dataGetter.inputBtnMode == 'input':
36          gotError: bool = dataGetter.catch_input_errors()
37          if not gotError:
38              [ tableHandler.table.setEnabled(False) for tableHandler in
                ↪  dataGetter.tables.values()]
39              [ lineEdit.setEnabled(False) for lineEdit in
                ↪  dataGetter.lineEdits.values()]
40              [ btn.setEnabled(True) for btn in actionBtns]
41              inputBtn.setText(modes['reset'])
42              dataGetter.inputBtnMode = 'reset'
43              instructionLabel.setText(instructionTexts['reset'])
44              matrixOptimizer.max_T = float(dataGetter.lineEditsTexts['Значение
                ↪  Тэ'])
45
46          return
47
48      if dataGetter.inputBtnMode == 'reset':
49          [ tableHandler.table.setEnabled(True) for tableHandler in
            ↪  dataGetter.tables.values()]
50          [ tableHandler.decolorize_cells() for tableHandler in
            ↪  dataGetter.tables.values()]
51          [ lineEdit.setEnabled(True) for lineEdit in dataGetter.lineEdits.values()]
52          [ btn.setEnabled(False) for btn in actionBtns]
53          inputBtn.setText(modes['input'])
54          dataGetter.inputBtnMode = 'input'
55          instructionLabel.setText(instructionTexts['input'])
56          return
57
58
59  def main():
```

```
60      Form, Window = uic.loadUiType("main_window.ui")
61      app = QApplication([])
62      window = Window()
63      form = Form()
64      form.setupUi(window)
65
66      from tableHandlers import TableHandler
67      cTable = TableHandler(form.cMatrix, cMatrixDefault)
68      tTable = TableHandler(form.tMatrix, tMatrixDefault)
69      cTable.table.itemChanged.connect(TableHandler.floatValidateAndMessage)
70      tTable.table.itemChanged.connect(TableHandler.floatValidateAndMessage)
71
72      from optimizer import MatrixOptimizer
73      matrixOptimizer = MatrixOptimizer(cTable, tTable, max_T_default)
74      dataGetter = DataGetter(tables={"Матрица C": cTable, "Матрица T": tTable},
        ↪  lineEdits={"Значение Tз": form.T_max_lEdit},
75                              lineEditsLinkedTables={"Значение Tз": 'Матрица T'})
76
77      form.dataInput.clicked.connect(lambda: (
78          InputBtnClick(dataGetter, matrixOptimizer, form.dataInput,
            ↪  form.instructionLabel, [form.optimize1, form.optimize2,
            ↪  form.decisionTreeBtn]),
79          matrixOptimizer.refreshValues()
80      ))
81      form.optimize1.clicked.connect(lambda: (
82          matrixOptimizer.optimization1(),
83          matrixOptimizer.cTable.colorize_cells(matrixOptimizer.eliminated),
84          matrixOptimizer.tTable.colorize_cells(matrixOptimizer.eliminated)
85      ))
86      form.optimize2.clicked.connect(lambda: (
87          matrixOptimizer.optimization2(),
88          matrixOptimizer.cTable.colorize_cells(matrixOptimizer.eliminated),
89          matrixOptimizer.tTable.colorize_cells(matrixOptimizer.eliminated)
90      ))
91      form.decisionTreeBtn.clicked.connect(lambda: (
92          matrixOptimizer.tree_optimization(),
93          form.svgView.update()
94      ))
95
96      validator = QRegularExpressionValidator(QRegularExpression(r'[0-9]+\.[0-9]*'))
97      form.T_max_lEdit.setValidator(validator)
98      form.T_max_lEdit.setText(str(max_T_default))
99
100     def showSVG(event):
101         if matrixOptimizer.treeDone:
102             svgRenderer = QSvgRenderer('out.svg')
103             painter = QPainter(form.svgView)
104             svgRenderer.render(painter)
105     form.svgView.paintEvent = showSVG
106     window.show()
107     app.exec()
108
109 if __name__ == '__main__':
```

```
110     main()
```

Листинг 2. userInfo.py

```
1   from PyQt6.QtWidgets import QMessageBox
2
3   def showMessageBox(title: str, description: str, icon: QMessageBox.Icon):
4       msgBox = QMessageBox()
5       msgBox.setText(title)
6       msgBox.setInformativeText(description)
7       msgBox.setIcon(icon)
8       msgBox.exec()
9
10  class TemplateMessageBox(QMessageBox):
11      def __init__(self, title: str, description: str, icon: QMessageBox.Icon):
12          super().__init__()
13          self.setText(title)
14          self.setInformativeText(description)
15          self.setIcon(icon)
16
17  class DataGetter:
18      def __init__(self, tables: dict, lineEdits: dict, lineEditsLinkedTables: dict
        ↪  = {}):
19          '''
20          tables -> dict(str: TableHandler)
21          lineEdits -> dict(str: QLineEdit)
22          '''
23          self.tables = tables
24          self.lineEdits = lineEdits
25          self.data_good = False
26          self.lineEditsTexts = dict()
27          self.lineEditsLinkedTables = lineEditsLinkedTables
28          self.inputBtnMode = 'input'
29
30      def _get_and_check(self):
31          '''
32          Считывает данные из полей для ввода и выполняет проверки на корректность
            ↪  введённых данных
33          '''
34          for name, table in self.tables.items():
35              table.toNumpy()
36              if not table.data_good:
37                  raise ValueError(f"{name}. Неверно введённые данные")
38
39          for name, lineEdit in self.lineEdits.items():
40              text = lineEdit.text()
41              if len(text) == 0:
42                  raise ValueError(f"{name}. Должно быть введено значение")
43              self.lineEditsTexts[name] = text
44
45
46              if name not in self.lineEditsLinkedTables:
```

```
                return

            table_name = self.lineEditsLinkedTables[name]
            theorMin = self.tables[table_name].theorMin
            if float(text) < theorMin:
                raise ValueError(f"{name}. Значение не может быть меньше
                ↪  теоретического минимума равного {theorMin}")

    def catch_input_errors(self) -> bool:
        try:
            self._get_and_check()
            msg = TemplateMessageBox("Данные успешно введены", "",
            ↪  QMessageBox.Icon.Information)
            msg.exec()
            return False
        except ValueError as e:
            msg = TemplateMessageBox("Неверно введённые данные", str(e),
            ↪  QMessageBox.Icon.Warning)
            msg.exec()
            return True
```

Листинг 3. tableHandlers.py

```
from PyQt6.QtWidgets import QTableWidget, QTableWidgetItem, QMessageBox
from PyQt6.QtGui import QColor
from userInfo import TemplateMessageBox
import numpy as np

class TableHandler:
    valueErrorTitle: str = 'Введены неверные данные!'
    valueErrorMessages: dict = {
        'empty_cell': TemplateMessageBox(valueErrorTitle, 'Заполните все ячейки
        ↪  матрицы.', QMessageBox.Icon.Warning),
        'non_float': TemplateMessageBox(valueErrorTitle, 'Все значения должны быть
        ↪  числовыми.', QMessageBox.Icon.Warning),
        'negative_value': TemplateMessageBox(valueErrorTitle, 'Значение не может
        ↪  быть отрицательным.', QMessageBox.Icon.Warning)
    }

    def __init__(self, table: QTableWidget, defaultValues: np.array = None):
        self.table: QTableWidget = table
        self.rows = self.table.rowCount()
        self.columns = self.table.columnCount()
        self.matrix: np.ndarray = defaultValues
        self.data_good = True
        self.theorMin = None

        if self.matrix is None:
            self.data_good = False
            return

        if (self.rows, self.columns) != self.matrix.shape:
```

```
27              raise ValueError("Table shape does not match passed defaultValues:
                ↪ np.array shape")
28
29          self.toTable(self.matrix)
30
31      @staticmethod
32      def floatValidate(item: QTableWidgetItem):
33          '''
34          Валидирует значение в соответствии со следующими критериями: значение
            ↪ непустое, вещественное типа float, неотрицательное. Возвращает код
            ↪ результата проверки и само проверенное значение, если оно прошло
            ↪ валидацию.
35          '''
36          if not item:
37              return ('empty_cell', None)
38
39          try:
40              item_f = float(item.text())
41          except ValueError:
42              return ('non_float', None)
43
44          if item_f < 0:
45              return ('negative_value', None)
46
47          return ('good', item_f)
48
49      @staticmethod
50      def floatValidateAndMessage(item: QTableWidgetItem):
51          '''
52          Валидирует введённое значение и выводит сообщение, если значение не прошло
            ↪ валидацию. Проверяемые критерии определяются floatValidate()
53          '''
54          status, value = TableHandler.floatValidate(item)
55          if status != 'good':
56              TableHandler.valueErrorMessages[status].exec()
57              return ('err', None)
58
59          return ('good', value)
60
61      def _calcTheorMin(self):
62          '''
63          Расчёт теоретического суммарного минимума для набора из единичных значений
            ↪ из каждой строки
64          '''
65          self.theorMin = sum(self.matrix.min(1))
66
67      def toNumpy(self):
68          '''
69          Запись значений из таблицы QTableWidget в матрицу np.array
70          '''
71          matrix = []
72          for i in range(self.table.rowCount()):
73              row = []
74              for j in range(self.table.columnCount()):
```

```
                item = self.table.item(i, j)

                status, value = TableHandler.floatValidateAndMessage(item)
                if status == 'err':
                    self.table.setCurrentCell(i, j)
                    self.data_good = False
                    return None

                row += [value,]
            matrix += [row,]

        np_matrix = np.array(matrix, dtype=np.float16)
        self.matrix = np_matrix
        self.data_good = True
        self._calcTheorMin()
        return np_matrix

    def toTable(self, matrix: np.array):
        '''
        Запись значений из матрицы np.array в таблицу QTableWidget
        '''
        if (self.rows, self.columns) != matrix.shape:
            raise ValueError("Table shape does not match passed np.array shape")

        for i in range(self.rows):
            for j in range(self.columns):
                value = QTableWidgetItem(str(matrix[i,j]))
                self.table.setItem(i, j, value)

    def colorize_cells(self, mask: np.array):
        if (self.table.rowCount(), self.table.columnCount()) != mask.shape:
            raise ValueError("Table shape does not match pased np.array shape")

        for i in range(self.table.rowCount()):
            for j in range(self.table.columnCount()):
                if mask[i,j] == True:
                    self.table.item(i, j).setBackground(QColor(200,0,0))

    def decolorize_cells(self):
        for i in range(self.table.rowCount()):
            for j in range(self.table.columnCount()):
                self.table.item(i, j).setBackground(QColor(255,255,255))
```

Листинг 4. optimizer.py

```
from PyQt6.QtWidgets import QMessageBox
from tableHandlers import TableHandler
import numpy as np

class Tree:
    def __init__(self, parent: 'Tree' = None, fixed_nodes: list = []):
        self.parent: Tree = parent
```

```
8           self.children = dict()
9           self.fixed_nodes = fixed_nodes
10          self.status_good = True
11
12      def add_child(self, fixed_nodes, c_sum, t_sum) -> 'Tree':
13          parent_node = self.find_child(fixed_nodes[:-1])
14          child_node = Tree(parent_node, fixed_nodes.copy())
15          child_node.set_metrics(c_sum, t_sum)
16          last_node = fixed_nodes[-1]
17          parent_node.children[last_node] = child_node
18
19          return child_node
20
21      def find_child(self, fixed_nodes) -> 'Tree':
22          if self.fixed_nodes == fixed_nodes:
23              return self
24
25          next_node = fixed_nodes[len(self.fixed_nodes)]
26          res = self.children[next_node].find_child(fixed_nodes)
27          return res
28
29      def set_metrics(self, c_sum, t_sum):
30          self.c_sum = c_sum
31          self.t_sum = t_sum
32
33      def set_status(self, status_good: bool):
34          self.status_good = status_good
35
36      def print_node(self):
37          print(f'{self.c_sum:5>}|{self.t_sum:5>} good:{repr(self.status_good)}')
38
39      def print_tree(self, level = 1):
40          if level == 1:
41              self.print_node()
42          for node, child in self.children.items():
43              print('| '*level + f'{node}'+ '-->', end='')
44              child.print_node()
45              child.print_tree(level+1)
46
47      def _calc_x_for_node(self, x_place):
48          x_offset = (x_place - 1.5) * self.nodes_x_step
49          x_offset + (self.image_width-self.node_width)/2
50          x = x_offset + (self.image_width-self.node_width)/2
51          return x
52
53      def _calc_x_for_text(self, x_place):
54          x_offset = (x_place - 1.5) * self.nodes_x_step
55          x = x_offset + self.image_width/2
56          return x
57
58      def nodeSvg(self, node: 'Tree', x_place=1.5, level=0):
59          if node.status_good:
60              color = 'white'
61          else:
```

```
62              color = 'gray'
63          y_baseline = level * self.level_step
64
65          svg = f'''<rect x='{self._calc_x_for_node(x_place)}' y='{y_baseline}'
            ↪  width='{self.node_width}' height = '{self.node_height}' stroke='black'
            ↪  fill='{color}'/>
66  <text x='{self._calc_x_for_text(x_place)}' y='{y_baseline + self.node_height/2+3}'
    ↪  dominant-baseline='middle' text-anchor='middle'
    ↪  font-size='{self.f_size}'>{node.c_sum}|{node.t_sum}</text>\n'''
67          return svg
68
69      def nodesLevelSvg(self, children, level):
70          y_baseline = level * self.level_step
71          svg = f"<text x='0' y='{y_baseline + self.node_height/2}'
            ↪  font-size='{self.f_size}'>{level} уровень</text>\n"
72          for j, node in children.items():
73              svg += self.nodeSvg(node, j, level)
74          return svg
75
76
77      def toSvg(self, file_name: str ='out.svg'):
78          self.image_width = 800*1.13
79          self.image_height = 250*1.13
80          self.node_width = 50
81          self.node_height = 30
82          self.f_size = '12px'
83          self.level_step = 50
84          self.nodes_x_step = self.node_width + 30
85
86          svg = f'''<?xml version = '1.0' encoding='UTF-8'?>
87  <svg width='{self.image_width}' height='{self.image_height}' viewbox='0 0
    ↪  {self.image_width} {self.image_height}' xmlns='http://www.w3.org/2000/svg'>
88  <text x='0' y='{self.node_height/2}' font-size='{self.f_size}'>0 уровень</text>
            '''
90          svg += self.nodeSvg(self)
91          valid_node = self
92          level = 1
93          while valid_node.children:
94              svg += self.nodesLevelSvg(valid_node.children, level)
95              level += 1
96              y_baseline = (level-1) * self.level_step
97              parent_y = y_baseline - self.level_step + self.node_height
98              if valid_node.fixed_nodes:
99                  parent_x = self._calc_x_for_text(valid_node.fixed_nodes[-1])
100             else:
101                 parent_x = self._calc_x_for_text(1.5)
102
103             for node in valid_node.children.values():
104                 child_y = y_baseline
105                 child_x = self._calc_x_for_text(node.fixed_nodes[-1])
106                 svg += f"<line x1='{parent_x}' y1='{parent_y}' x2='{child_x}'
                    ↪  y2='{child_y}' stroke='black'/>\n"
107                 if node.status_good:
108                     valid_node = node
```

```
109
110
111         svg += '</svg>'
112         with open(file_name, 'w', encoding='utf-8') as fp:
113             fp.write(svg)
114
115
116
117 class MatrixOptimizer:
118     def __init__(self, cTable: TableHandler, tTable: TableHandler, max_T: float):
119         self.max_T = max_T
120         self.cTable: TableHandler = cTable
121         self.tTable: TableHandler = tTable
122         self.cMatrix: np.array = cTable.matrix
123         self.tMatrix: np.array = tTable.matrix
124         self.rows, self.columns = self.cMatrix.shape
125         self.eliminated = np.zeros((self.rows, self.columns), dtype=bool)
126         self.treeDone = False
127
128     def refreshValues(self):
129         self.cMatrix = self.cTable.matrix
130         self.tMatrix = self.tTable.matrix
131         self.rows, self.columns = self.cMatrix.shape
132         self.eliminated = np.zeros((self.rows, self.columns), dtype=bool)
133
134     def optimization1(self):
135         c_argmin = self.cMatrix.argmin(1)
136         eliminated = []
137         for i in range(self.rows):
138             t_min = self.tMatrix[i,c_argmin[i]]
139             c_min = self.cMatrix[i,c_argmin[i]]
140             eliminated.append([ self.tMatrix[i,j] > t_min or (self.tMatrix[i,j] ==
                ↪  t_min and self.cMatrix[i,j] > c_min) for j in range(self.columns)
                ↪  ])
141
142         self.eliminated = np.logical_or(self.eliminated, np.array(eliminated,
            ↪  dtype=bool))
143         return self.eliminated
144
145     def optimization2(self):
146         t_min = self.tMatrix.min(1)
147         t_min_sum = sum(t_min)
148         eliminated = []
149         for i in range(self.rows):
150             eliminated.append([ t_min_sum - t_min[i] + self.tMatrix[i,j] >
                ↪  self.max_T for j in range(self.columns) ])
151
152         self.eliminated = np.logical_or(self.eliminated, np.array(eliminated,
            ↪  dtype=bool))
153         return self.eliminated
154
155     def tree_add_current_row_nodes(self, fixed_nodes, row, c_argmin, t_argmin):
156         current_row_good_nodes = []
157         for j in range(self.columns):
```

```
158             if self.eliminated[row,j]:
159                 continue
160 
161             fixed_nodes[row] = j
162             c_sum = sum(self.cMatrix[range(row+1),fixed_nodes])
163             c_sum += sum(self.cMatrix[range(row+1, self.rows),c_argmin[row+1:]])
164             t_sum = sum(self.tMatrix[range(row+1),fixed_nodes])
165             t_sum += sum(self.tMatrix[range(row+1, self.rows),t_argmin[row+1:]])
166             node = self.root.add_child(fixed_nodes, c_sum, t_sum)
167             if t_sum > self.max_T:
168                 node.status_good = False
169             else:
170                 current_row_good_nodes.append(node)
171         return current_row_good_nodes
172 
173 
174     def tree_optimization(self):
175         c_argmin = self.cMatrix.argmin(1)
176         t_argmin = self.tMatrix.argmin(1)
177 
178         fixed_nodes = []
179         c_sum = sum(self.cMatrix[range(self.rows),c_argmin])
180         t_sum = sum(self.tMatrix[range(self.rows),t_argmin])
181         self.root = Tree()
182         self.root.set_metrics(c_sum, t_sum)
183         self.root.set_status(status_good=True)
184 
185         for i in range(self.rows):
186             fixed_nodes.append(0)
187             current_row_good_nodes = self.tree_add_current_row_nodes(fixed_nodes,
                ↪  i, c_argmin, t_argmin)
188 
189             min_c = current_row_good_nodes[0].c_sum
190             ind = current_row_good_nodes[0].fixed_nodes[-1]
191             for i, node in enumerate(current_row_good_nodes):
192                 if i == 0:
193                     continue
194 
195                 if node.c_sum < min_c:
196                     min_c = node.c_sum
197                     ind = node.fixed_nodes[-1]
198 
199             fixed_nodes[-1] = ind
200             for node in current_row_good_nodes:
201                 if node.fixed_nodes[-1] != ind:
202                     node.set_status(False)
203 
204 
205         self.root.print_tree()
206         self.treeDone = True
207         self.root.toSvg()
208         msg = QMessageBox()
209         msg.setText('Дерево успешно построено')
```

```
210         msg.exec()
```

Листинг 5. main_window.ui

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<ui version="4.0">
 <class>MainWindow</class>
 <widget class="QMainWindow" name="MainWindow">
  <property name="geometry">
   <rect>
    <x>0</x>
    <y>0</y>
    <width>800</width>
    <height>700</height>
   </rect>
  </property>
  <property name="sizePolicy">
   <sizepolicy hsizetype="Preferred" vsizetype="Preferred">
    <horstretch>0</horstretch>
    <verstretch>0</verstretch>
   </sizepolicy>
  </property>
  <property name="windowTitle">
   <string>Распределение задач по узлам управления</string>
  </property>
  <widget class="QWidget" name="centralwidget">
   <layout class="QGridLayout" name="gridLayout">
    <item row="1" column="0">
     <widget class="QFrame" name="frame">
      <property name="frameShape">
       <enum>QFrame::NoFrame</enum>
      </property>
      <property name="frameShadow">
       <enum>QFrame::Plain</enum>
      </property>
      <layout class="QHBoxLayout" name="horizontalLayout">
       <item>
        <spacer name="horizontalSpacer">
         <property name="orientation">
          <enum>Qt::Horizontal</enum>
         </property>
         <property name="sizeHint" stdset="0">
          <size>
           <width>40</width>
           <height>20</height>
          </size>
         </property>
        </spacer>
       </item>
       <item>
        <layout class="QVBoxLayout" name="verticalLayout_2">
         <item>
```

```
49          <widget class="QLabel" name="cLabel">
50           <property name="sizePolicy">
51            <sizepolicy hsizetype="Preferred" vsizetype="Minimum">
52             <horstretch>0</horstretch>
53             <verstretch>0</verstretch>
54            </sizepolicy>
55           </property>
56           <property name="text">
57            <string>Матрица C</string>
58           </property>
59           <property name="alignment">
60            <set>Qt::AlignCenter</set>
61           </property>
62          </widget>
63         </item>
64         <item>
65          <widget class="QTableWidget" name="cMatrix">
66           <property name="sizePolicy">
67            <sizepolicy hsizetype="Minimum" vsizetype="Minimum">
68             <horstretch>0</horstretch>
69             <verstretch>0</verstretch>
70            </sizepolicy>
71           </property>
72           <property name="minimumSize">
73            <size>
74             <width>0</width>
75             <height>0</height>
76            </size>
77           </property>
78           <property name="verticalScrollBarPolicy">
79            <enum>Qt::ScrollBarAlwaysOff</enum>
80           </property>
81           <property name="horizontalScrollBarPolicy">
82            <enum>Qt::ScrollBarAlwaysOff</enum>
83           </property>
84           <property name="sizeAdjustPolicy">
85            <enum>QAbstractScrollArea::AdjustToContents</enum>
86           </property>
87           <property name="selectionMode">
88            <enum>QAbstractItemView::SingleSelection</enum>
89           </property>
90           <property name="showGrid">
91            <bool>true</bool>
92           </property>
93           <property name="wordWrap">
94            <bool>false</bool>
95           </property>
96           <property name="cornerButtonEnabled">
97            <bool>true</bool>
98           </property>
99           <property name="rowCount">
100           <number>5</number>
101          </property>
102          <property name="columnCount">
```

```
103             <number>4</number>
104            </property>
105            <attribute name="horizontalHeaderVisible">
106             <bool>true</bool>
107            </attribute>
108            <attribute name="horizontalHeaderCascadingSectionResizes">
109             <bool>false</bool>
110            </attribute>
111            <attribute name="horizontalHeaderDefaultSectionSize">
112             <number>60</number>
113            </attribute>
114            <attribute name="horizontalHeaderMinimumSectionSize">
115             <number>60</number>
116            </attribute>
117            <attribute name="horizontalHeaderStretchLastSection">
118             <bool>false</bool>
119            </attribute>
120            <attribute name="verticalHeaderVisible">
121             <bool>true</bool>
122            </attribute>
123            <row/>
124            <row/>
125            <row/>
126            <row/>
127            <row/>
128            <column/>
129            <column/>
130            <column/>
131            <column/>
132           </widget>
133          </item>
134         </layout>
135        </item>
136        <item>
137         <layout class="QVBoxLayout" name="verticalLayout_3">
138          <item>
139           <widget class="QLabel" name="tLabel">
140            <property name="sizePolicy">
141             <sizepolicy hsizetype="Preferred" vsizetype="Minimum">
142              <horstretch>0</horstretch>
143              <verstretch>0</verstretch>
144             </sizepolicy>
145            </property>
146            <property name="text">
147             <string>Матрица T</string>
148            </property>
149            <property name="alignment">
150             <set>Qt::AlignCenter</set>
151            </property>
152           </widget>
153          </item>
154          <item>
155           <widget class="QTableWidget" name="tMatrix">
156            <property name="sizePolicy">
```

```
157             <sizepolicy hsizetype="Minimum" vsizetype="Minimum">
158              <horstretch>0</horstretch>
159              <verstretch>0</verstretch>
160             </sizepolicy>
161            </property>
162            <property name="minimumSize">
163             <size>
164              <width>0</width>
165              <height>0</height>
166             </size>
167            </property>
168            <property name="autoFillBackground">
169             <bool>false</bool>
170            </property>
171            <property name="lineWidth">
172             <number>1</number>
173            </property>
174            <property name="verticalScrollBarPolicy">
175             <enum>Qt::ScrollBarAlwaysOff</enum>
176            </property>
177            <property name="horizontalScrollBarPolicy">
178             <enum>Qt::ScrollBarAlwaysOff</enum>
179            </property>
180            <property name="sizeAdjustPolicy">
181             <enum>QAbstractScrollArea::AdjustToContents</enum>
182            </property>
183            <property name="autoScrollMargin">
184             <number>16</number>
185            </property>
186            <property name="selectionMode">
187             <enum>QAbstractItemView::SingleSelection</enum>
188            </property>
189            <property name="textElideMode">
190             <enum>Qt::ElideNone</enum>
191            </property>
192            <property name="showGrid">
193             <bool>true</bool>
194            </property>
195            <property name="wordWrap">
196             <bool>false</bool>
197            </property>
198            <property name="cornerButtonEnabled">
199             <bool>true</bool>
200            </property>
201            <property name="rowCount">
202             <number>5</number>
203            </property>
204            <property name="columnCount">
205             <number>4</number>
206            </property>
207            <attribute name="horizontalHeaderVisible">
208             <bool>true</bool>
209            </attribute>
210            <attribute name="horizontalHeaderCascadingSectionResizes">
```

```
211             <bool>false</bool>
212            </attribute>
213            <attribute name="horizontalHeaderDefaultSectionSize">
214             <number>60</number>
215            </attribute>
216            <attribute name="horizontalHeaderMinimumSectionSize">
217             <number>60</number>
218            </attribute>
219            <attribute name="horizontalHeaderStretchLastSection">
220             <bool>false</bool>
221            </attribute>
222            <attribute name="verticalHeaderVisible">
223             <bool>true</bool>
224            </attribute>
225            <row/>
226            <row/>
227            <row/>
228            <row/>
229            <row/>
230            <column/>
231            <column/>
232            <column/>
233            <column/>
234           </widget>
235          </item>
236         </layout>
237        </item>
238        <item>
239         <spacer name="horizontalSpacer_2">
240          <property name="orientation">
241           <enum>Qt::Horizontal</enum>
242          </property>
243          <property name="sizeHint" stdset="0">
244           <size>
245            <width>40</width>
246            <height>20</height>
247           </size>
248          </property>
249         </spacer>
250        </item>
251       </layout>
252      </widget>
253     </item>
254     <item row="2" column="0">
255      <layout class="QHBoxLayout" name="horizontalLayout_3">
256       <property name="spacing">
257        <number>10</number>
258       </property>
259       <property name="leftMargin">
260        <number>0</number>
261       </property>
262       <property name="rightMargin">
263        <number>0</number>
264       </property>
```

```
265         <item>
266          <spacer name="horizontalSpacer_5">
267           <property name="orientation">
268            <enum>Qt::Horizontal</enum>
269           </property>
270           <property name="sizeHint" stdset="0">
271            <size>
272             <width>40</width>
273             <height>20</height>
274            </size>
275           </property>
276          </spacer>
277         </item>
278         <item>
279          <widget class="QLabel" name="T_zLabel">
280           <property name="text">
281            <string>Значение Tз</string>
282           </property>
283          </widget>
284         </item>
285         <item>
286          <widget class="QLineEdit" name="T_max_lEdit">
287           <property name="maximumSize">
288            <size>
289             <width>100</width>
290             <height>16777215</height>
291            </size>
292           </property>
293          </widget>
294         </item>
295         <item>
296          <spacer name="horizontalSpacer_6">
297           <property name="orientation">
298            <enum>Qt::Horizontal</enum>
299           </property>
300           <property name="sizeHint" stdset="0">
301            <size>
302             <width>40</width>
303             <height>20</height>
304            </size>
305           </property>
306          </spacer>
307         </item>
308        </layout>
309       </item>
310       <item row="5" column="0">
311        <layout class="QHBoxLayout" name="horizontalLayout_2">
312         <item>
313          <widget class="QPushButton" name="optimize1">
314           <property name="enabled">
315            <bool>false</bool>
316           </property>
317           <property name="minimumSize">
318            <size>
```

```
319             <width>0</width>
320             <height>60</height>
321            </size>
322           </property>
323           <property name="text">
324            <string>1 оптимизация</string>
325           </property>
326          </widget>
327         </item>
328         <item>
329          <widget class="QPushButton" name="optimize2">
330           <property name="enabled">
331            <bool>false</bool>
332           </property>
333           <property name="minimumSize">
334            <size>
335             <width>0</width>
336             <height>60</height>
337            </size>
338           </property>
339           <property name="text">
340            <string>2 оптимизация</string>
341           </property>
342          </widget>
343         </item>
344         <item>
345          <widget class="QPushButton" name="decisionTreeBtn">
346           <property name="enabled">
347            <bool>false</bool>
348           </property>
349           <property name="sizePolicy">
350            <sizepolicy hsizetype="Minimum" vsizetype="Fixed">
351             <horstretch>0</horstretch>
352             <verstretch>0</verstretch>
353            </sizepolicy>
354           </property>
355           <property name="minimumSize">
356            <size>
357             <width>0</width>
358             <height>60</height>
359            </size>
360           </property>
361           <property name="text">
362            <string>Построить
363 дерево решений</string>
364           </property>
365          </widget>
366         </item>
367        </layout>
368       </item>
369       <item row="3" column="0">
370        <layout class="QHBoxLayout" name="horizontalLayout_5">
371         <item>
372          <spacer name="horizontalSpacer_7">
```

```
373          <property name="orientation">
374           <enum>Qt::Horizontal</enum>
375          </property>
376          <property name="sizeHint" stdset="0">
377           <size>
378            <width>40</width>
379            <height>20</height>
380           </size>
381          </property>
382         </spacer>
383        </item>
384        <item>
385         <widget class="QPushButton" name="dataInput">
386          <property name="minimumSize">
387           <size>
388            <width>30</width>
389            <height>50</height>
390           </size>
391          </property>
392          <property name="maximumSize">
393           <size>
394            <width>999999</width>
395            <height>16777215</height>
396           </size>
397          </property>
398          <property name="layoutDirection">
399           <enum>Qt::LeftToRight</enum>
400          </property>
401          <property name="text">
402           <string>Ввод данных</string>
403          </property>
404         </widget>
405        </item>
406        <item>
407         <spacer name="horizontalSpacer_8">
408          <property name="orientation">
409           <enum>Qt::Horizontal</enum>
410          </property>
411          <property name="sizeHint" stdset="0">
412           <size>
413            <width>40</width>
414            <height>20</height>
415           </size>
416          </property>
417         </spacer>
418        </item>
419       </layout>
420      </item>
421      <item row="0" column="0">
422       <layout class="QHBoxLayout" name="horizontalLayout_4">
423        <item>
424         <spacer name="horizontalSpacer_4">
425          <property name="orientation">
426           <enum>Qt::Horizontal</enum>
```

```
427          </property>
428          <property name="sizeHint" stdset="0">
429           <size>
430            <width>40</width>
431            <height>20</height>
432           </size>
433          </property>
434         </spacer>
435        </item>
436        <item>
437         <widget class="QLabel" name="instructionLabel">
438          <property name="font">
439           <font>
440            <pointsize>12</pointsize>
441           </font>
442          </property>
443          <property name="text">
444           <string>Введите данные</string>
445          </property>
446          <property name="scaledContents">
447           <bool>false</bool>
448          </property>
449          <property name="alignment">
450           <set>Qt::AlignCenter</set>
451          </property>
452         </widget>
453        </item>
454        <item>
455         <spacer name="horizontalSpacer_3">
456          <property name="orientation">
457           <enum>Qt::Horizontal</enum>
458          </property>
459          <property name="sizeHint" stdset="0">
460           <size>
461            <width>40</width>
462            <height>20</height>
463           </size>
464          </property>
465         </spacer>
466        </item>
467       </layout>
468      </item>
469      <item row="4" column="0">
470       <spacer name="verticalSpacer">
471        <property name="orientation">
472         <enum>Qt::Vertical</enum>
473        </property>
474        <property name="sizeType">
475         <enum>QSizePolicy::Fixed</enum>
476        </property>
477        <property name="sizeHint" stdset="0">
478         <size>
479          <width>20</width>
480          <height>15</height>
```

```
481          </size>
482         </property>
483        </spacer>
484       </item>
485       <item row="6" column="0">
486        <widget class="QWidget" name="svgView" native="true">
487         <property name="sizePolicy">
488          <sizepolicy hsizetype="Preferred" vsizetype="Expanding">
489           <horstretch>0</horstretch>
490           <verstretch>0</verstretch>
491          </sizepolicy>
492         </property>
493        </widget>
494       </item>
495      </layout>
496     </widget>
497     <widget class="QMenuBar" name="menubar">
498      <property name="geometry">
499       <rect>
500        <x>0</x>
501        <y>0</y>
502        <width>800</width>
503        <height>21</height>
504       </rect>
505      </property>
506     </widget>
507     <widget class="QStatusBar" name="statusbar"/>
508    </widget>
509    <resources/>
510    <connections/>
511   </ui>
```