



Семахин Андрей Михайлович

Родился в 1963 году в г. Кургане. Окончил среднюю школу №31 г. Кургана, Курганский машиностроительный институт, аспирантуру Московского государственного технологического университета «СТАНКИН», кандидат технических наук, доцент.

Работает на кафедре программного обеспечения автоматизированных систем с 2006 года. Преподаёт дисциплины: основы программирования, языки программирования, алгоритмы и структуры данных, компьютерная графика, web-программирование, теория информации, тестирование и управление качеством ПО.

Сфера научных интересов: моделирование систем.

Автор 78 научных и учебно-методических работ. Научные труды опубликованы в США, Германии, Чехии, Польше и Болгарии.

А.М. Семахин

ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ В МОДЕЛИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ISBN 978-5-4217-0366-2



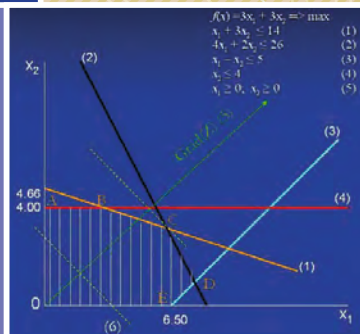
Курганский
государственный
университет



редакционно-издательский
центр

65-48-12

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Курганский государственный университет»

А.М. Семахин

**ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ
В МОДЕЛИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Учебное пособие

Курган 2016

УДК 004.4(075.8)
ББК 32.973я73
С30

Рецензенты

В.Ю. Пирогов – кандидат физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной информатики и экономики Шадринского государственного педагогического института;

В.Г. Коуров – доктор технических наук, профессор, директор Шадринского филиала Московского педагогического государственного университета им. М.А. Шолохова, заведующий кафедрой прикладной информатики и математики.

Печатается по решению методического совета Курганского государственного университета.

Семахин А. М.

Линейное программирование в моделировании информационных систем: учебное пособие. – Курган : Изд-во КГУ, 2016. – 68 с.

В учебном пособии рассматриваются методы линейного и целочисленного программирования в моделировании информационных систем. Разработана математическая модель выбора оптимального проекта распределённой вычислительной сети. Приводится пример определения оптимального проекта распределённой вычислительной сети организации методами линейного и целочисленного программирования. Разработан программный комплекс выбора оптимального проекта распределённой вычислительной сети на языке C++.

Для закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков моделирования информационных систем приводятся вопросы и варианты заданий для самостоятельной работы.

Рис. – 17, библиограф. – 11.

УДК 004.4(075.8)
ББК 32.973я73

ISBN 978-5-4217-0366-2

© Курганский государственный университет, 2016.

© Семахин А.М., 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Этапы моделирования информационных систем	6
2 Классификация математических моделей	8
3 Моделирование информационных систем методами математического программирования.....	9
3.1 Методы линейного программирования.....	9
3.1.1 Симплекс-метод.....	10
3.1.2 Метод Гаусса-Жордана	10
3.1.3 Обыкновенное Жорданово исключение	11
3.1.4 Модифицированное Жорданово исключение.....	11
3.2 Методы целочисленного программирования	13
3.2.1 Метод отсекающих плоскостей.....	13
3.2.2 Метод ветвей и границ.....	15
3.3 Математическая модель выбора оптимального проекта информационной системы	17
3.3.1 Постановка задачи.....	17
3.3.2 Выбор проектов методом экспертных оценок	18
3.3.3 Выбор проекта информационной системы методом математического программирования.....	18
3.3.4 Определение оптимального проекта корпоративной информационной системы ТФ ОМС Курганской области.....	20
3.3.4.1 Затраты на выполнение первого этапа создания информационной системы	22
3.3.4.2 Затраты на выполнение второго этапа создания информационной системы	26
3.3.4.3 Показатели эффективности проекта.....	31
3.3.4.4 Определение оптимального плана методом Гаусса-Жордана.....	34
3.3.4.5 Определение оптимального плана методом Модифицированное Жорданово исключение	35
3.3.4.6 Определение целочисленного оптимального плана методом отсекающих плоскостей.....	38
3.3.4.7 Определение оптимального плана методом ветвей и границ	41

3.3.5 Программный комплекс определения оптимального варианта распределенной вычислительной сети	44
3.3.6 Вопросы.....	47
3.3.7 Самостоятельная работа «Разработка программы выбора Оптимального проекта информационной системы организации»	47
3.3.7.1 Требования к самостоятельной работе	55
3.3.7.2 Варианты заданий	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	57
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	59
ПРИЛОЖЕНИЯ	60

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность создания и использования информационных систем является актуальной задачей.

Основу информационной системы составляет вычислительная система, включающая компоненты: кабельная сеть, активное сетевое оборудование, компьютерное и периферийное оборудование, оборудование хранения данных, системное, специальное и прикладное программное обеспечение.

Подходом к проектированию информационных систем является моделирование. Моделирование – метод исследования сложных систем. Существующие и проектируемые системы исследуются с помощью математических моделей (аналитических и имитационных), реализуемых на ЭВМ [1].

При моделировании на компьютере воспроизводятся реальные процессы в изучаемом объекте, исследуются особые случаи и критические ситуации.

Объектом моделирования информационных систем является система, определяющая способы получения, хранения, обработки, использования и передачи информации.

В процессе моделирования производятся:

- определение необходимого оборудования, осуществляющего передачу, обработку и хранение информации;
- оценка производительности оборудования, обеспечивающего увеличение производственных потребностей;
- выбор вариантов оборудования с учетом потребностей перспективы развития на основании критерия стоимости оборудования;
- проведение проверки работы вычислительной системы.

Проектирование и исследование вычислительных систем с использованием математического моделирования снижают временные и финансовые затраты.

Учебное пособие рассматривает применение методов линейного программирования в проектировании информационных систем организаций.

Для закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков в моделировании информационных систем с использованием методов линейного программирования в учебном пособии приводятся вопросы и варианты заданий самостоятельной работы для разработки программ, формализующих математические модели вычислительных систем организаций и алгоритмы решений.

1 Этапы моделирования информационных систем

Моделирование – метод научного познания, при котором исследуемый объект заменяется моделью. Существуют два вида моделирования:

- математическое моделирование;
- физическое моделирование.

При физическом моделировании исследуемая система заменяется системой, которая воспроизводит свойства изучаемой системы с сохранением их физической природы. При натурном моделировании вычислительной сети проверка её работы связана с большими временными и материальными затратами.

При математическом моделировании исследуемая система описывается математическими выражениями, представляющими математическую модель реальной системы.

Моделирование корпоративных информационных систем (КИС) подразделяется на этапы.

1 Этап. Переход от реальной КИС к упрощенной КИС. Корпоративная информационная система существует объективно, независимо от лица, принимающего решение, и знаний о КИС. Реальная КИС – сложный объект, имеющий свойства и характеристики. Упрощенная КИС характеризуется существенными свойствами, незначимые (несущественные) – игнорируются. Результат 1 этапа – формулирование задачи моделирования КИС в текстовой форме записи.

2 Этап. Переход от упрощенной КИС к математической форме записи (математической модели) КИС. Результат 2 этапа моделирования КИС – математическая модель КИС, представленная математическими выражениями (уравнения и неравенства). Это важный этап в процессе моделирования КИС. Он включает шаги:

- определение искомым переменных математической модели;
- определение цели и ограничений математической модели;
- математическое описание целевой функции модели;
- математическое описание ограничений модели.

3 Этап. Переход от математической модели КИС к электронной модели КИС. Электронная модель КИС – это формализованная на ПЭВМ математическая модель КИС. Разработаны пакеты прикладных программ (ППП), например, TORA, ПЭР, ДИФАР.

4 Этап. Получение результатов моделирования информационной системы:

- определяется решение математической модели КИС;
- выполняется проверка на адекватность, точность и качество математической модели КИС.

Этапы моделирования информационной системы приводятся на рисунке 1.1

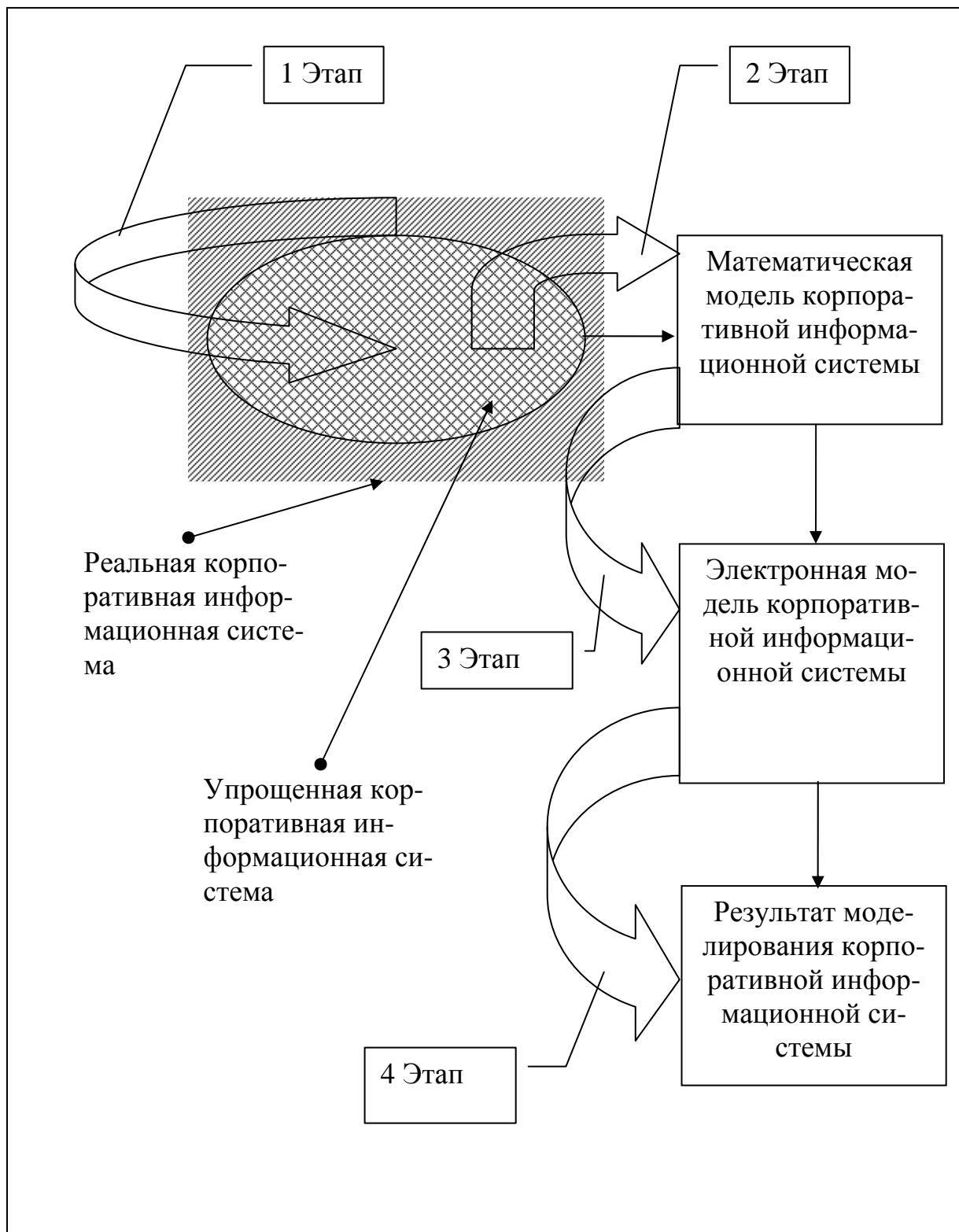


Рисунок 1.1 – Этапы моделирования корпоративной информационной системы

2 Классификация математических моделей

Моделирование информационных систем подразделяется на виды.

Аналитическое моделирование – моделирование, разрабатывающее математические модели, содержащие аналитические зависимости эндогенных переменных от экзогенных переменных.

Преимущество аналитического моделирования – разработка математических моделей широкого круга задач исследования КИС.

Недостатками аналитического моделирования КИС являются:

- значительные упрощения аналитических моделей;
- громоздкость вычислений для сложных моделей;
- сложность аналитического описания вычислительных процессов;
- недостаточная развитость аналитического аппарата, не позволяющая в аналитических моделях выбирать для исследования показатели эффективности.

Имитационное моделирование – это математический аппарат, описывающий явления, составляющие функционирование исследуемой системы, с сохранением логической структуры, последовательности протекания во времени, особенностей и состава информации о состоянии процессов.

Корпоративная информационная система описывается алгоритмами, имитирующими функционирование системы. Имитационная модель КИС – это статистический эксперимент, проведенный на ПЭВМ. Результаты эксперимента анализируются и обрабатываются, что позволяет определить требуемые показатели, характеризующие качество КИС.

Преимущества имитационного моделирования – универсальность, формализация простых и сложных задач.

Недостатки имитационного моделирования:

- сложность, высокая трудоемкость и стоимость разработки моделей;
- большая ресурсоемкость моделей при реализации на ЭВМ.

Разработаны пакеты моделирования вычислительных сетей, например, PlanNet фирмы Comdisco, NetMaker фирмы MakeSystems.

Экспериментальное моделирование – практическое использование моделей КИС, предполагающее наличие информации о реальных характеристиках вычислительного процесса. Информация получается эмпирическими методами. На основе эмпирических методов создаются средства для исследования компонентов КИС: сетевые анализаторы, анализаторы протоколов и т.д.

Эвристическое моделирование – моделирование КИС, основанное на опыте и интуиции специалистов-экспертов. Специалисты в области вычислительных средств, активного сетевого оборудования и кабельных сетей на основании имеющегося опыта осуществляют моделирование вычислитель-

ной системы, обеспечивающей решение задачи. Этот подход позволяет минимизировать затраты на этапе проектирования, быстро оценить стоимость реализации информационной системы. Решения, полученные с использованием эвристического моделирования, носят субъективный характер.

Виды моделирования информационных систем приведены на рисунке 2.1.

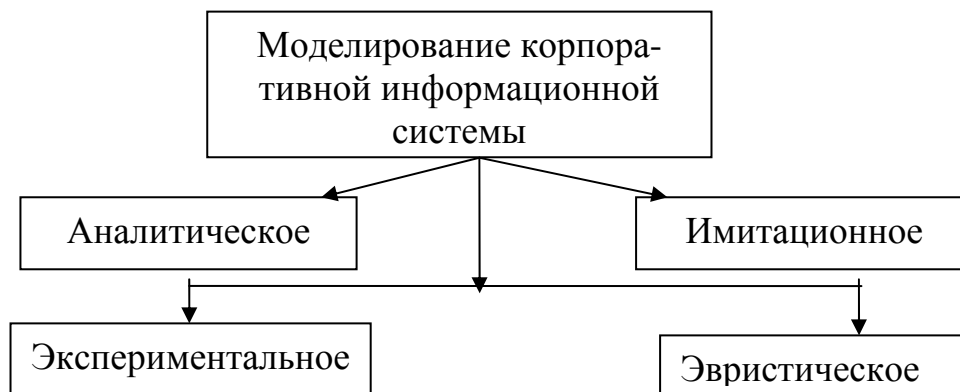


Рисунок 2.1 – Виды моделирования информационных систем

3 Моделирование информационных систем методами математического программирования

3.1 Методы линейного программирования

Линейное программирование – теоретический аппарат модельного исследования, направленного на отыскание наилучшего способа распределения ограниченных ресурсов. Целевая функция и ограничения математической модели линейного программирования представляются линейными уравнениями и неравенствами. Математическая модель линейного программирования имеет вид

$$\begin{aligned}
 \text{extr} \leftarrow Z &= \sum_{j=1}^n C_j * X_j \\
 \text{при условиях} & \\
 \left\{ \begin{aligned}
 \sum_{j=1}^n a_{ij} * X_j &= b_i \\
 X_j &\geq 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}.
 \end{aligned} \right. & (3.1)
 \end{aligned}$$

3.1.1 Симплекс-метод

Симплекс-метод – метод обхода угловых точек области допустимых решений (симплекса) с проверкой на оптимальность.

Базисное решение – решение системы уравнений, получаемое приравниванием к нулю $(n - m)$ переменных, где n – количество неизвестных, m – количество уравнений.

Допустимое базисное решение – базисное решение, удовлетворяющее требованию неотрицательности правых частей.

Небазисные переменные – переменные, имеющие нулевое значение.

Базисные переменные – переменные, имеющие ненулевое значение.

Включаемая переменная – небазисная переменная, которая будет включена в множество базисных переменных на следующей итерации (при переходе к смежной экстремальной точке).

Исключаемая переменная – базисная переменная, которая на следующей итерации подлежит исключению из множества базисных переменных.

Симплекс-алгоритм состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Определение начального допустимого базисного решения.

Шаг 2. Определение включаемой переменной из числа небазисных переменных. Если такой переменной нет, то решение оптимально. Иначе осуществляется переход к шагу 3.

Шаг 3. Определение исключаемой переменной из числа базисных переменных.

Шаг 4. Определение нового базисного решения. Переход на шаг 2 [2].

3.1.2 Метод Гаусса-Жордана

Метод Гаусса-Жордана (метод исключения переменных) определяет оптимальное решение задачи линейного программирования. Метод Гаусса-Жордана выполняется после определения ведущей строки, ведущего столбца и ведущего элемента симплекс-таблицы.

Ведущая строка – строка симплекс-таблицы, соответствующая исключаемой переменной.

Ведущий столбец – столбец симплекс-таблицы, соответствующий включаемой переменной.

Ведущий элемент – элемент таблицы, находящийся на пересечении ведущего столбца и ведущей строки.

Условие оптимальности. Включаемой переменной в задаче максимизации (минимизации) является небазисная переменная, имеющая в Z -уравнении наибольший отрицательный (положительный) коэффициент. В случае равенства коэффициентов для нескольких небазисных переменных

выбор делается произвольно. Если все коэффициенты при небазисных переменных в Z-уравнении неотрицательны (неположительны), полученное решение является оптимальным [2].

Условие допустимости. В задачах максимизации и минимизации в качестве исключаемой переменной выбирается базисная переменная, для которой отношение постоянной в правой части соответствующего ограничения к (положительному) коэффициенту ведущего столбца минимально. В случае равенства этого отношения для нескольких базисных переменных выбор делается произвольно [2].

Метод Гаусса-Жордана включает две вычислительные процедуры.

1 Формирование новой ведущей строки.

Новая ведущая строка=Старая ведущая строка/Ведущий элемент.

2 Формирование остальных новых уравнений.

Новое уравнение=Старое уравнение–(Коэффициент ведущего столбца старого уравнения)*(Новая ведущая строка) [2].

3.1.3 Обыкновенное Жорданово исключение

Алгоритм метода включает четыре этапа.

Этап 1. Разрешающий элемент заменяется обратной величиной.

Этап 2. Остальные элементы разрешающей строки делятся на разрешающий элемент и меняют знаки.

Этап 3. Остальные элементы разрешающего столбца делятся на разрешающий элемент.

Этап 4. Прочие элементы определяются по правилу прямоугольника: элемент новой Жордановой таблицы рассчитывается как отношение разности произведения элементов главной и побочной диагоналей старой Жордановой таблицы, деленный на разрешающий элемент [3, 4].

Блок-схема алгоритма метода обыкновенное Жорданово исключение приведена на рисунке 3.1.

3.1.4 Модифицированное Жорданово исключение

На практике используют модифицированное Жорданово исключение. Алгоритм метода включает 4 этапа.

Этап 1. Разрешающий элемент заменяется обратной величиной.

Этап 2. Остальные элементы разрешающей строки делятся на разрешающий элемент.

Этап 3. Остальные элементы разрешающего столбца делятся на разрешающий элемент и меняют знаки.

Этап 4. Прочие элементы определяются по правилу прямоугольника [3, 4].

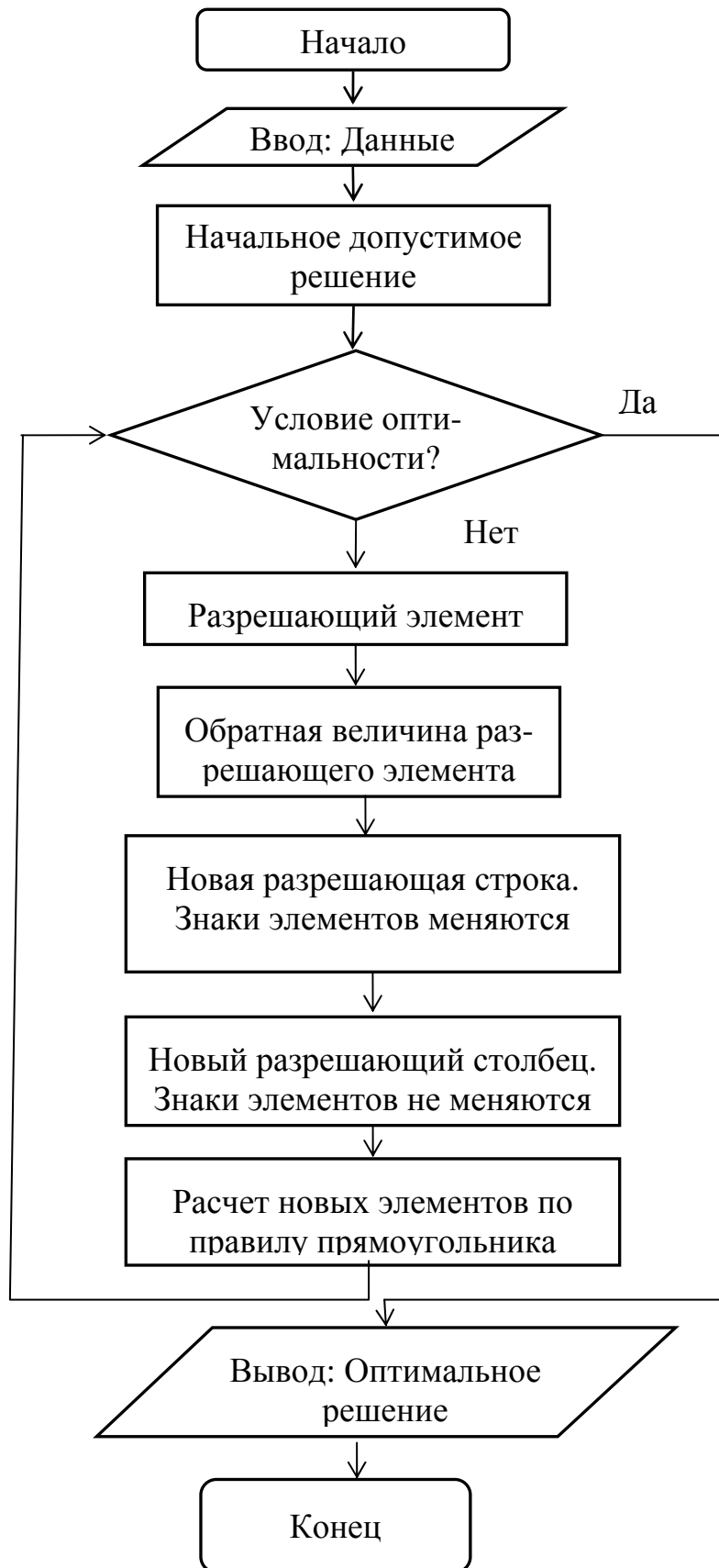


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритма метода обыкновенное Жорданово исключение

3.2 Методы целочисленного программирования

Целочисленное программирование – раздел линейного программирования, разрабатывающий и исследующий методы решения задач, искомыми переменными которых имеют целочисленные значения.

Математическая модель целочисленного программирования имеет вид

$$\text{extr} \leftarrow Z = \sum_{j=1}^n C_j * X_j$$

при условиях

(3.2)

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} * X_j = b_i, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n} \\ X_j \geq 0, \text{ целочисленное значение.} \end{cases}.$$

3.2.1 Метод отсекающих плоскостей

Метод отсекающих плоскостей разработан Р. Гомори в 1957-1958 годах. Алгоритм метода включает этапы.

Этап 1. Ослабленная задача. Целочисленность искомым переменных игнорируется, симплекс-методом определяется оптимальный план.

Этап 2. Расширенная задача. Если план нецелочисленный, составляется дополнительное ограничение, «отсекающее» дробную часть искомой переменной. Дополнительное ограничение включается в систему ограничений и решается расширенная задача.

В методе Р. Гомори используются понятия конгруэнтности чисел и дробной части числа.

Число $a \equiv b$ (a конгруэнтно числу b), если разность $a-b$ есть целое число. Все целые числа конгруэнтны между собой и конгруэнтны нулю [3].

Дробная часть числа a – наименьшее неотрицательное число, конгруэнтное числу a . Дробная часть числа a обозначается выражением, заключенным в фигурные скобки $\{a\}$. Дробные части всех целых чисел равны нулю [3].

Конгруэнтность чисел имеет три свойства.

1 Если число a конгруэнтно числу b , то дробные части чисел $\{a\}$ и $\{b\}$ тоже конгруэнтны. Если $a \equiv b$, то $\{a\} \equiv \{b\}$.

2 Дробная часть суммы двух чисел a и b конгруэнтна сумме дробных частей этих чисел. Если $a \equiv b$, то $\{a+b\} \equiv \{a\} + \{b\}$.

3 Произведение целого числа на любое число конгруэнтно дробной части произведения этих чисел и конгруэнтно произведению целого числа

на дробную часть числа a . Если n – целое число и a – любое число, то $n*a \equiv \{n*a\} \equiv n*\{a\}$ [3].

Алгоритм метода Гомори позволяет за конечное число шагов определить оптимальное целочисленное решение.

Пусть дана целочисленная математическая модель.

$$\text{extr} \leftarrow Z = \sum_{j=1}^n C_j * X_j$$

при условиях (3.3)

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} * X_j = b_i, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n} \\ X_j \geq 0, \text{ целое число.} \end{cases}$$

Требование целочисленности игнорируется и математическая модель решается как задача линейного программирования. Оптимальное решение $\overline{X}^* = (X_1^*; X_2^*; X_3^*; X_4^*; \dots; X_n^*) = (b_1; b_2; b_3; b_4; \dots; b_n)$.

Если \overline{X}^* содержит нецелочисленные значения, то выбирается базисная переменная X_i , которой в оптимальном плане соответствует число с наибольшей дробной частью. Составляется уравнение, в котором переменная X_i выражена через постоянную часть и линейную функцию свободных переменных X_j .

$$X_i = b_i' + \sum_j a_{ij}' * X_j, \tag{3.4}$$

где b_i', a_{ij}' – преобразованные величины b_i и a_{ij} . Обозначим соответствующие переменные в целочисленном решении через X_i' и X_j' , тогда

$$X_i' = b_i' + \sum_j a_{ij}' * X_j'. \tag{3.5}$$

Поскольку X_i' – целое число, то целым является и выражение в правой части уравнения, следовательно величина правой части конгруэнтна нулю.

$$0 \equiv b_i' + \sum_{j=1}^n a_{ij}' * X_j' \tag{3.6}$$

или
$$\sum_{j=1}^n (-a_{ij}') * X_j' \equiv b_i'. \tag{3.7}$$

Учитывая приведенные выше свойства конгруэнтности и то, что X'_j – целые числа, это выражение можно преобразовать в следующее:

$$\sum_{j=1}^n \{-a_{ij}\} * X'_j \equiv \{b_i\}. \text{ Так как } X'_j \text{ – целые неотрицательные числа, то по-}$$

следнее выражение можно записать в виде

$$\sum_{j=1}^n \{-a_{ij}\} * X'_j \geq \{b_i\}. \quad (3.8)$$

Это неравенство является дополнительным ограничением, которое добавляется в систему ограничений нецелочисленного оптимального плана [3].

3.2.2 Метод ветвей и границ

Метод ветвей и границ применяется для решения полностью или частично целочисленных задач. Предложен А. Лэндом и Дж. Дойгом в 1960 г.

Дана математическая модель целочисленного линейного программирования

$$\max \leftarrow Z = \sum_{j=1}^n c_j * x_j$$

при ограничениях (3.9)

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n a_{ij} * x_j = b_i, i = \overline{1, m} \\ x_j \geq 0, j = \overline{1, n} \\ x_1, x_2, \dots, x_p \text{ – целые числа } (p \leq n). \end{array} \right.$$

Найти вектор $\bar{x} \in E_n$, максимизирующий целевую функцию. Для целочисленной переменной можно указать верхнюю и нижнюю границы, в пределах которых содержатся оптимальные значения

$$V_j \leq x_j \leq W_j, j = \overline{1, p}. \quad (3.10)$$

В начале S итерации метода ветвей и границ необходимо иметь следующее.

1 Список задач линейного программирования, каждая из которых должна быть решена в последующих итерациях.

2 Нижнюю границу оптимального значения линейной формы задачи $Z_0^{(S)}$. На первой итерации в качестве $Z_0^{(1)}$ берется значение целевой функции $f(\bar{x})$ в любой целочисленной точке \bar{x} . Если точку указать невозможно, то принимают $Z_0^{(1)} = -\infty$.

Пусть в результате S итераций метода получили список из Z задач: $1, 2, \dots, Z$, а также существует $Z_0^{(S)}$. Алгоритм метода ветвей и границ содержит следующие этапы.

1 Этап. Выбирается из списка задач линейного программирования задача R для решения, $1 \leq R \leq Z$. Задача R решается.

2 Этап. Если задача R имеет решение $x_R^{-(S)}$, то переходим к этапу 3. Иначе – исключаем задачу R из списка, $Z_0^{(S+1)} = Z_0^{(S)}$. Переход к этапу 1. При $S = 0$ делаем вывод, что исходная задача не имеет решения и процесс решения заканчивается.

3 Этап. Если $f(x_R^{-(S)}) > Z_0^{(S)}$, то переходим к этапу 4. В противном случае задача R исключается из списка. Переход к этапу 1.

4 Этап. Если все компоненты вектора $x_R^{-(S)}$ удовлетворяют условию целочисленности, то переходим к этапу 5. В противном случае задача R из списка исключается. План $x_R^{-(S)}$ запоминается, $Z_0^{(S+1)} = f(x_R^{-(S)})$. Переход к этапу 1. При $S = 0$ вектор $x^{-(1)}$ является решением исходной задачи и процесс решения заканчивается.

5 Этап. Задача R из списка исключается. В список включаются две новые задачи линейного программирования: задача $Z + 1$ и задача $Z + 2$, $Z_0^{(S+1)} = Z_0^{(S)}$. Переход к этапу 1. Процесс разбиения задачи R на две новые задачи линейного программирования осуществляется следующим образом.

Пусть $x_j^{-(S)}$ – дробная компонента в полученном оптимальном плане $x_R^{-(S)}$ и $\left[x_j^{-(S)} \right]$ – целая часть. Тогда задача $Z + 1$ имеет вид:

$$f(\bar{x}) = \sum_{j=1}^n c_j * x_j \rightarrow \max$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n a_{ij} * x_j = b_i, i = \overline{1, m} \\ \dots \\ V_j \leq x_j \leq \left[\overline{x_j}^{(S)} \right] \\ \dots \\ x_1, \dots, x_n \geq 0. \end{array} \right. \quad (3.11)$$

Тогда задача $Z + 2$ имеет вид:

$$f(\overline{x}) = \sum_{j=1}^n c_j * x_j \rightarrow \max$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n a_{ij} * x_j = b_i, i = \overline{1, m} \\ \dots \\ \left[\overline{x_j}^{(S)} \right] + 1 \leq x_j \leq W_j \\ \dots \\ x_1, \dots, x_n \geq 0. \end{array} \right. \quad (3.12)$$

Процесс решения продолжается, пока не будут решены все задачи линейного программирования из списка. Решение задачи будет $Z_0^{(S)}$ на последней итерации [4].

3.3 Математическая модель выбора оптимального проекта информационной системы

3.3.1 Постановка задачи

Задача математического моделирования выбора оптимального проекта информационной системы формулируется следующим образом: из числа фирм, предоставляющих услуги спутникового Интернет на территории Российской Федерации, требуется выбрать провайдера спутникового Интернет с максимальной величиной чистого приведенного эффекта

(наибольшей общей стоимостью капитала) и удовлетворяющего ограничениям.

Математическая модель включает два этапа.

1 Методом экспертных оценок выбираются фирмы, предоставляющие спутниковый Интернет на территории Российской Федерации.

2 Методами математического программирования выбирается оптимальный вариант из числа спутниковых провайдеров, выбранных на первом этапе.

3.3.2 Выбор проектов методом экспертных оценок

Метод экспертных оценок основан на опыте и интуиции специалистов. Группа экспертов разрабатывает список факторов, характеризующих проект информационной системы. Каждому фактору присваивается вес. Далее эксперты проводят оценку рассматриваемого проекта по каждому из факторов, после чего оценки суммируются с учетом ранее определенных весов и затем усредняются по числу экспертов.

Пусть i – номер проекта информационной системы, $i = \overline{1, n}$; j – номер эксперта, оценивающего варианты проектов информационной системы, $j = \overline{1, m}$; k – число факторов, $k = \overline{1, p}$; β_{jk} – вес, присвоенный j -м экспертом k -му фактору; Z_{jk}^i – оценка, данная j -м экспертом k -му фактору. В этом случае усредненная оценка i -го варианта проекта информационной системы определяется по формуле

$$\overline{Z}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \beta_{jk} * Z_{jk}^i. \quad (3.13)$$

Ранжирование позволяет выявить наиболее подходящие варианты проектов информационной системы [5-8].

3.3.3 Выбор проекта информационной системы методом математического программирования

На втором этапе выбирается оптимальный проект из числа проектов, определенных на первом этапе. Формулируется задача целочисленного линейного программирования.

Построение математической модели включает четыре этапа.

1 Определение переменных. Пусть X_i – искомая переменная i проекта информационной системы, значение которой определяет, будет ли реализован проект ($X_i=1$) или нет ($X_i=0$).

2 Определение цели и ограничений. Цель – максимизация чистого приведенного эффекта (net present value, NPV).

Ограничения – средства финансирования в соответствующие периоды времени.

3 Математическое описание целевой функции. Целевая функция имеет вид:

$$\max \leftarrow Z = \sum_{i=1}^n A_i * X_i = A_1 * X_1 + \dots + A_n * X_n. \quad (3.14)$$

4 Математическое описание ограничений.

Математическое описание ограничений имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} B_1^0 * X_1 + B_2^0 * X_2 + \dots + B_n^0 * X_n \leq I^0 \\ B_1^1 * X_1 + B_2^1 * X_2 + \dots + B_n^1 * X_n \leq I^1 \\ \vdots \\ B_1^m * X_1 + B_2^m * X_2 + \dots + B_n^m * X_n \leq I^m \\ X_i \geq 0, \text{ целые числа.} \end{array} \right. \quad (3.15)$$

Математическая модель линейного целочисленного программирования имеет вид:

$$\max \leftarrow Z = \sum_{i=1}^n A_i * X_i = A_1 * X_1 + \dots + A_n * X_n$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} B_1^0 * X_1 + B_2^0 * X_2 + \dots + B_n^0 * X_n \leq I^0 \\ B_1^1 * X_1 + B_2^1 * X_2 + \dots + B_n^1 * X_n \leq I^1 \\ \vdots \\ B_1^m * X_1 + B_2^m * X_2 + \dots + B_n^m * X_n \leq I^m \\ X_i \geq 0, \text{ целое число, } i = \overline{1, n}, \end{array} \right. \quad (3.16)$$

где A_i – чистый приведенный эффект i проекта информационной системы, млн. руб;

B_i^j – инвестиционные затраты i проекта в j периоде времени, млн. руб.;

I_j – имеющиеся средства финансирования в j периоде времени, млн. руб.;

X_i – бинарная переменная, значение которой определяет, будет ли реализован проект $X_i=1$ или нет $X_i=0$;

$i = \overline{1, n}$ – номер инвестиционного проекта;

$j = \overline{1, m}$ – номер периода времени, год.

Математическая модель выбора оптимального проекта информационной системы имеет вид:

$$\overline{Z}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \beta_{jk} * Z_{jk}^i$$

$$\max \leftarrow Z = \sum_{i=1}^n A_i * X_i = A_1 * X_1 + \dots + A_n * X_n$$

при ограничениях

$$\begin{cases} B_1^0 * X_1 + B_2^0 * X_2 + \dots + B_n^0 * X_n \leq I^0 \\ B_1^1 * X_1 + B_2^1 * X_2 + \dots + B_n^1 * X_n \leq I^1 \\ \vdots \\ B_1^m * X_1 + B_2^m * X_2 + \dots + B_n^m * X_n \leq I^m \\ X_i \geq 0, \text{ целые числа, } i = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (3.17)$$

3.3.4 Определение оптимального проекта корпоративной информационной системы ТФ ОМС Курганской области

На первом этапе выберем варианты проектов спутникового Интернет с помощью метода экспертных оценок. В таблице 3.1 приведены критерии выбора, значения факторов и весовые коэффициенты. В приложении Д приведены данные по провайдерам спутникового Интернет. В приложении Е приведены формализованные данные по провайдерам спутни-

кового Интернет. В таблице 3.2 приведены рассчитанные бальные оценки проектов спутникового Интернет.

После ранжирования проектов спутникового Интернет для Территориального фонда обязательного медицинского страхования Курганской области в портфель инвестиций включены ЗАО «НТВ-Плюс» (199 баллов), Europe Online Networks (EOL) (177 баллов), Astra Networks (157 баллов), Satpro (152 балла) и Network Service (137 баллов).

Таблица 3.1 – Таблица экспертных показателей выбора проекта спутникового Интернет

Критерий выбора	Вес	Факторы					
		Аналоговый			Цифровой		
1 Стандарт передачи данных	2	1			5		
2 Диапазон частоты, ГГц	3	С (3-6)		Ku (10-12)		Ka (28-48)	
		3		8		10	
3 Поляризация	2	Линейная			Круговая		
		1			5		
4 Скорость передачи данных, Мбит/с	5	до 0,5	0,5-1	1-10	10-20	20-30	30-50
		1	2	4	6	8	10
5 Ошибка (FEC)	3	до 0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-1,0	
		8	6	4	2	1	
6 Уровень сигнала, дБВт	4	до 30	30-35	35-40	40-45	45-50	св. 50
		1	3	6	8	9	10
7 Уровень надежности	3	Низкий		Средний		Высокий	
		2		4		6	
8 Абонентская плата, у.е.	2	Объемная		Часовая		Месячная	
		1		3		5	
9 Стоимость оборудования, тыс. у.е.	5	До 0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-5	5-10	св. 10
		0	8	6	4	2	1
10 Стоимость установочных и пусконаладочных работ, у.е.	4	До 50	50-100	100-200	200-500	500-1000	св. 1000
		10	8	6	4	2	1

Таблица 3.2 – Оценка проектов спутникового Интернет

Провайдер	Подсчет оценки	Оценка
1 Network Service	$5*2+8*3+5*2+4*5+1*3+6*4+4*3+3*2+4*5+2*4$	137
2 Омиком	$5*2+8*3+1*2+2*5+2*3+6*4+4*3+5*2+4*5+2*4$	126
3SatRro	$5*2+8*3+5*2+2*5+2*3+6*4+4*3+5*2+6*5+4*4$	152
4 Helios Net	$1*2+3*3+5*2+4*5+1*3+6*4+2*3+5*2+4*5+4*4$	120
5 Europe Online Networks	$5*2+8*3+1*2+8*5+1*3+6*4+6*3+5*2+6*5+4*4$	177
6 Astra Network	$5*2+8*3+1*2+8*5+1*3+3*4+6*3+5*2+6*5+2*4$	157
7 Lucky Net	$5*2+8*3+5*2+4*5+1*3+1*4+2*3+3*2+4*5+2*4$	111
8 Space Gate	$5*2+8*3+5*2+4*5+1*3+1*4+2*3+3*2+4*5+2*4$	111
9 Адамант	$5*2+8*3+5*2+4*5+2*3+3*4+2*3+3*2+4*5+2*4$	118
10 Nordic Sattelite	$5*2+8*3+5*2+4*5+1*3+1*4+6*3+1*2+6*5+2*4$	129
11 НТВ-Плюс	$5*2+8*3+5*2+2*5+2*3+9*4+4*3+5*2+8*5+10*4$	199

Построение корпоративной информационной системы организации требует больших капиталовложений. Необходимые финансовые затраты следует разбить на этапы, связанные с развитием информационной системы.

3.3.4.1 Затраты на выполнение первого этапа создания информационной системы

Первый этап создания корпоративной информационной системы территориального фонда обязательного медицинского страхования Курганской области (КИС ТФ ОМС) – создание вычислительной сети центрального офиса организации. Затраты первого этапа создания информационной системы включают следующее.

1 Приобретение программы «1С:Бухгалтерия 8.0. Проф.» по цене 140 у.е.

2 Приобретение по одному комплекту операционной системы Windows по цене 250 у.е. и офисного пакета Microsoft Office по цене 50 у.е.

3 Приобретение антивирусной программы по цене 5 у.е., программных продуктов для разработки визуальных приложений и систему управления базами данных общей стоимостью 30 у.е.

4 В качестве прокси-сервера (проxy server) приобретается компьютер по цене 530 у.е.

5 В качестве рабочих станций приобретаются компьютеры по цене 440 у.е.

6 Для создания архива баз данных налогоплательщиков, застрахованных лиц и реестра пролеченных больных в лечебно-профилактических учреждениях (ЛПУ) приобретается пишущее устройство чтения компакт дисков по цене 150 у.е.

7 Для преобразования печатной информации в электронную приобретается сканер по цене 160 у.е.

8 В дополнение к используемым в ТФ ОМС принтерам следует приобрести несколько печатающих устройств общей стоимостью 920 у.е.

9 Объединение баз данных по налогоплательщикам, застрахованным гражданам и реестру пролеченных больных в ЛПУ. Разработка программы на основе программ «ФОНД-МС», «Формирование базы данных застрахованного населения Курганской области» и «Полис-Тариф» информационно-аналитическим отделом займет месяц и, согласно действующим должностным окладам, обойдется ТФ ОМС в 90 у.е.

10 Для использования системы информационного спутникового доступа в Интернет необходимо приобрести комплект спутникового оборудования, включающего параболическую офсетную антенну диаметром 0,9 метра СТВ-0,9, twin-конвертер SRTL-1002/Strong, компьютерную DVB карту SkyStar2 (NTVI-1) и 12 метров кабеля. Стоимость комплекта спутникового оборудования 230 у.е.

Сетевые карты, концентраторы, кабель и кабельное оборудование используется с заменяемых устаревших персональных компьютеров.

В приложении В приведена схема вычислительной сети ТФ ОМС Курганской области.

В приложении Г приведено количество персональных компьютеров и принтеров, используемых в отделах ТФ ОМС Курганской области. Всего компьютеров 44, из них Pentium III 650 – 17 компьютеров, Pentium 120 – 3 компьютера, Celeron 400 – 13 компьютеров и Intell 486 Aptiva – 11 компьютеров. Всего устаревших компьютеров 27 штук.

Материальные затраты по развитию информационной системы на первом этапе по видам приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Затраты на приобретение программного обеспечения и оборудования на первом этапе развития информационной системы ТФ ОМС Курганской области

Наименование	Количество	Цена, у.е.	Сумма, у.е.
Программное обеспечение			
«1С:Бухгалтерия 8.0 Проф.», комплект	1	140	140
Операционная система Windows, комплект	1	160	250
Microsoft Office, комплект	1	50	50
Dr. Web for Windows, комплект	1	5	5
Delphi, комплект	1	10	10
Visual C++, комплект	1	10	10
Visual FoxPro, комплект	1	10	10
Программа, заменяющая программы «ФОНД-МС», «Формирование базы данных застрахованного населения Курганской области» и «Полис-Тариф»	1	90	90
Итого по разделу:			475
Прокси-сервер			
Персональный компьютер Pentium, шт.	1	530	530
Итого по разделу:			530
Рабочие станции и периферия			
Персональный компьютер Pentium, шт.	27	440	11880
Устройство чтения компакт дисков CD-RW drive Int IDE Mitsumi CR4804TE, шт.	1	150	150
Сканер HP ScanJet 3400C, шт.	1	160	160
Лазерный принтер, шт.	1	170	170
Лазерный принтер Canon, шт.	1	370	370
Лазерный принтер Lexmark Optra E312L, шт.	1	380	380
Итого по разделу:			13110
Спутниковое оборудование			
Набор спутникового оборудования, комплект	1	230	230
Итого по разделу:			230
Итого по всем разделам:			14345

В таблице 3.4 приведены трудовые затраты на реализацию первого этапа сотрудниками ТФ ОМС Курганской области. На выполнение первого этапа проекта потребуется 18 месяцев с трудовыми затратами в 53 че-

ловека*месяц. Финансовые затраты на реализацию первого этапа составят $2505,36*53=132784,08$ рублей.

Таблица 3.4 – Трудовые затраты на выполнение первого этапа сотрудниками ТФ ОМС Курганской области

Наименование работ	Срок выполнения, мес.	Число исполнителей, чел.	Трудоёмкость, чел.*мес.
Разработка технического задания по совершенствованию информационной системы ТФ ОМС Курганской области	3	4	12
Утверждение технического задания и разработка технического проекта	2	1	2
Обследование и анализ административного корпуса	1	2	2
Монтажные и функциональные схемы, пояснительная записка, полная спецификация на активное оборудование и компоненты кабельной системы	1	2	2
Выбор Интернет-провайдера и спутникового оборудования. Заключение договора с провайдером на предоставление услуг Интернет	1	1	1
Покупка системного, сетевого и прикладного программного обеспечения	1	1	1
Покупка вычислительной техники и спутникового оборудования	1	1	1
Монтаж, подключение и настройка оборудования: установка параболической антенны и ее настройка на спутник Eutelsat W4 (36 градусов восточной долготы); установка платы NTVI-1; тестирование линий; подключение сервера и рабочих станций; установка программного обеспечения	1	4	4
Обучение персонала работе с новым программным обеспечением, в локальной вычислительной сети и Интернет	1	4	4
Объединение баз данных по налогоплательщикам, застрахованным гражданам и реестру пролеченных больных в ЛПУ. Разработка программы на основе программ «ФОНД-МС2, «Полис-Тариф» и «Формирование базы данных застрахованного населения Курганской области»	6	4	24
Итого:	18		53

Укрупненная смета затрат первого этапа приведена в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Укрупненная смета затрат на первом этапе внедрения информационной системы ТФ ОМС Курганской области (1 у.е.=28 рублей)

Наименование	Стоимость, у.е.	Стоимость, тыс. руб.
Программное обеспечение	475	13,300
Прокси-сервер	530	14,840
Рабочие станции и периферия	13110	367,080
Спутниковое оборудование	230	6,440
Реализация первого этапа	4742,3	132,784
Итого:	19087,3	534,444

3.3.4.2 Затраты на выполнение второго этапа создания информационной системы

На втором этапе создания информационной системы ТФ ОМС Курганской области формируются вычислительные сети в районных управлениях. На 01.01.2016 г. система обязательного медицинского страхования Курганской области (кроме ТФ ОМС) включала 24 филиала ТФ ОМС, 3 СМО и 59 ЛПУ.

Затраты второго этапа включают следующее.

1 Приобретение компьютеров Pentium по цене 530 у.е. в качестве прокси-сервера. При этом его необходимо укомплектовать источником бесперебойного питания Smart UPS 1400 по цене 90 у.е.

2 Приобретение персональных компьютеров Pentium по цене 440 у.е. в качестве рабочих станций.

3 Приобретение лазерного принтера по цене 170 у.е.

4 Приобретение и установка сетевых карт по цене 50 у.е.

5 Приобретение для построения кабельной сети концентраторов Comrex Microhub/8, 8 Port, RJ 45 + BNC/AUI Stackable Ethernet hub TP1008B по цене 40 у.е.

6 Приобретение кабеля и кабельного оборудования, необходимого для монтажа. Стоимость 1 метра кабеля типа витая пара пятой категории 0,3 у.е., стоимость дополнительного оборудования на один компьютер 10 у.е.

7 Приобретение комплекта спутникового оборудования по цене 230 у.е.

Затраты на приобретение оборудования на втором этапе создания информационной системы ТФ ОМС Курганской области приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Затраты на приобретение оборудования на втором этапе создания информационной системы ТФ ОМС Курганской области

Наименование	Количество	Цена, у.е.	Сумма, у.е.
Прокси-сервер			
Персональный компьютер Pentium, шт.	86	530	45580
Источник бесперебойного питания Smart UPS 1400, шт.	86	90	7740
Итого по разделу:			53320
Рабочие станции и периферия			
Персональный компьютер Pentium, шт.	86*2=172	440	75680
Лазерный принтер Canon	86	170	14620
Итого по разделу:			90300
Активное сетевое оборудование			
Сетевая карта 3 Com EtherLink XL TPC 10Mb EthernetNIC, шт.	86*3=258	50	12900
Концентратор Comrex Microhub/8, 8 Port, RJ 45 + BNC/AUI Stackable Ethernet hub TP1008B, шт.	86	40	3440
Итого по разделу:			16340
Расходные материалы для монтажа кабельной системы			
Кабель витая пара пятой категории UTP level 5, м	86*3*20=5160	0,3	1548
Дополнительное монтажное оборудование	86*3=258	10	2580
Итого по разделу:			4128
Спутниковое оборудование			
Набор спутникового оборудования, комплект	86	230	19780
Итого по разделу:			19780
Итого по всем разделам:			183868

В таблице 3.7 приведены трудовые затраты на реализацию второго этапа сотрудниками ТФ ОМС, СМО и ЛПУ.

Таблица 3.7 – Трудовые затраты на выполнение второго этапа сотрудниками филиалов ТФ ОМС, СМО и ЛПУ

Наименование работ	Срок выполнения, мес.	Число исполнителей, чел.	Трудоёмкость, чел./мес.
Обследование и анализ административных зданий филиалов ТФ ОМС, СМО и ЛПУ	1	86	86
Монтажные и функциональные схемы, пояснительная записка, полная спецификация на активное оборудование и компоненты кабельной системы	1	86	86
Покупка современной вычислительной техники	2	86	172
Покупка комплектов спутникового оборудования	2	86	172
Установка, настройка, подключение спутникового оборудования. Инсталляция программного обеспечения. Обучение персонала работе с новым программным обеспечением и спутниковым Интернет	2	86	172
Итого:	8		688

Трудовые затраты второго этапа составляют 688 человек*месяц. Продолжительность второго этапа составляет 8 месяцев. Исходя из расчета, что средняя заработная плата сотрудников филиалов ТФ ОМС, СМО и ЛПУ составляет 2505,36 рублей в месяц, получим материальные затраты в размере $2505,36 \cdot 688 = 1723688,4$ рублей.

Укрупненная смета затрат второго этапа приведена в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Укрупненная смета затрат второго этапа совершенствования информационной системы ТФ ОМС Курганской области (1у.е.=28 рублей)

Наименование	Стоимость, у.е.	Стоимость, тыс. руб.
Прокси-сервер	53320	1492,960
Рабочие станции и периферия	90300	2528,400
Активное сетевое оборудование	16340	457,520

Продолжение таблицы 3.8

Расходные материалы для монтажа кабельной системы	4128	115,584
Спутниковое оборудование	19780	553,840
Реализация второго этапа	61560,3	1723,688
Итого:	245428,3	6871,992

В таблице 3.9 приведены суммарные затраты на построение единой информационной системы ТФ ОМС Курганской области.

Суммарные затраты на построение единой информационной системы ТФ ОМС Курганской области составляют 7406,437 тыс. рублей.

Таблица 3.9 – Суммарные затраты на построение единой информационной системы ТФ ОМС Курганской области (1 у.е.=28 рублей)

Наименование	Стоимость 1 этапа, у.е.	Стоимость 2 этапа, у.е.	Общая стоимость, у.е.	Общая стоимость, тыс. руб.
Программное обеспечение	475	-	475	13300
Прокси-сервер	530	53320	53850	1507800
Рабочие станции и периферия	13110	90300	103410	2895480
Активное сетевое оборудование	-	16340	16340	457520
Расходные материалы для монтажа кабельной системы	-	4128	4128	115584
Спутниковое оборудование	230	19780	20010	560280
Реализация этапов	4742,3	61560,3	66302,6	1856473
Итого:	19087,3	245428,3	264515,6	7406437

Затраты на реализацию проектов информационной системы ТФ ОМС Курганской области приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Затраты на реализацию проектов спутникового Интернет

Проект	Затраты, млн. руб.		
	Вычислительная техника, программное обеспечение и т.д.	Спутниковое оборудование	Общие затраты
НТВ-Плюс	6,846157	0,560280	7,406437
EOL	6,846157	1,235673	8,081830
Astra Network	6,846157	1,085390	7,931547
Satpro	6,846157	2,440418	9,286575
Network Service	6,846157	5,040375	11,886532

Общие затраты распределяются по периодам времени. Имеющиеся средства финансирования и затраты, распределённые по периодам времени, приведены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Исходные данные для определения оптимального проекта

Период времени, лет	Инвестиционные затраты, млн. руб.					Инвестиционные затраты	Средства финансирования
	НТВ+	EON	Astra Network	Satpro	Network Service		
F=0	-5,4000	- 3,2000	- 2,93100	- 6,28600	- 5,9000	- 23,717	6,5
F=1	-2,0064	- 1,5000	- 3,00054	- 3,00057	- 3,2000	- 12,707	3,0
F=2	0,0000 0	- 2,5000	- 2,00000	0,00000	- 1,6000	- 6,1000	3,0
F=3	0,0000 0	- 0,8818	0,00000 0	0,00000 0	- 1,1860	- 2,0678	1,5
NPV	+1,527 2	+0,741	+1,3743	+0,1451	+0,530		

Используя исходные данные, математическую модель можно записать в виде целевой функции и ограничений

$$\begin{aligned} \max \leftarrow Z &= 1.527270 * X_1 + 0.741239 * X_2 + 1.374394 * X_3 + \\ & 0.145110 * X_4 + 0.530312 * X_5 \\ \text{при ограничениях} & \\ & \left\{ \begin{array}{l} 5,4 * X_1 + 3.2 * X_2 + 2.931 * X_3 + 6.286 * X_4 + 5.9 * X_5 \leq 6,5 \\ 2.006437 * X_1 + 1.5 * X_2 + 3.000547 * X_3 + \\ + 3.000575 * X_4 + 3.2 * X_5 \leq 3,0 \\ 2.5 * X_2 + 2.0 * X_3 + 1.6 * X_5 \leq 3,0 \\ 0.881832 * X_2 + 1.186 * X_5 \leq 1,5 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \geq 0. \end{array} \right. \end{aligned} \quad (3.18)$$

В приложении Д приведена схема базовой корпоративной сети ТФ ОМС Курганской области. В приложении Е приведена схема проектной корпоративной сети ТФ ОМС Курганской области.

3.3.4.3 Показатели эффективности проекта

Оценка эффективности проекта осуществляется при помощи показателей:

- чистого приведенного эффекта;
- индекса рентабельности инвестиций;
- срока окупаемости [10].

Рассчитаем показатели эффективности проекта совершенствования информационной системы ТФ ОМС Курганской области.

Метод расчета чистого приведенного эффекта основан на сопоставлении величины исходной инвестиции с общей суммой дисконтированных чистых денежных поступлений, генерируемых ею в течение прогнозируемого срока.

Общая величина дисконтированных доходов (Present Value, PV) рассчитывается по формуле 3.19.

$$PV = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+r)^k}, \quad (3.19)$$

где P_k – годовые доходы;

r – коэффициент дисконтирования.

Чистый приведенный эффект (Net Present Value, NPV) рассчитывается по формуле 3.20

$$NPV = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+r)^k} - IC, \quad (3.20)$$

где P_k – годовые доходы;
 r – коэффициент дисконтирования;
 IC – инвестиция;
 n – продолжительность проекта.

Если проект предполагает не разовую инвестицию, а последовательное инвестирование финансовых ресурсов в течение m лет, то формула для расчета NPV модифицируется следующим образом:

$$NPV = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+r)^k} - \sum_{j=1}^m \frac{IC_j}{(1+i)^k}, \quad (3.21)$$

где P_k – годовые доходы;
 r – коэффициент дисконтирования;
 IC – инвестиция;
 n – продолжительность проекта, лет;
 m – продолжительность последовательного инвестирования финансовых ресурсов, лет;
 i – прогнозируемый средний уровень инфляции.

Чистый приведенный эффект от реализации проекта спутникового Internet, предоставляемого ЗАО «НТВ-Плюс», при норме дисконта $r=25\%$ и прогнозируемом среднем уровне инфляции $i=14\%$ определяется по формуле (3.21) и численно равен

$$NPV_{\text{НТВ-Плюс}} = \frac{4}{1,25} + \frac{4}{1,25^2} + \frac{4}{1,25^3} - \frac{5,4}{1,14} - \frac{2.006437}{1,14^2} = 3,2 + 2,56 + 2,048 - 4,736842 - 1,543888 = 7,808 - 6,28073 = 1,52727.$$

Аналогично рассчитываются чистые приведенные эффекты от реализации остальных проектов.

В таблице 3.12 приведены расчетные значения чистых приведенных эффектов проектов НТВ-Плюс, EOL, Astra Network, Satpro, Network Service.

Таблица 3.12 – Расчетные значения чистых приведенных эффектов

Проект	NPV, млн. руб.
НТВ-Плюс	1.52727
EOL	0.741239
Astra Network	1.374394
Satpro	0.145110
Network Service	0.530312

Так как $NPV > 0$, то проект следует принять.

Индекс рентабельности инвестиции (Profitability Index, PI) характеризует уровень доходов на единицу затрат (эффективность вложений). Чем больше значение PI, тем выше отдача каждого рубля, инвестированного в данный проект [4].

Индекс рентабельности инвестиции рассчитывается по формуле

$$PI = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+r)^k} : IC, \quad (3.22)$$

где P_k – годовые доходы;

r – коэффициент дисконтирования;

IC – инвестиция;

n – продолжительность проекта, лет.

Величина индекса рентабельности инвестиции численно равна

$$PI = \left(\frac{4}{1.1} + \frac{4}{1.1^2} + \frac{4}{1.1^3} \right) / 7.984964 = \frac{9.947407}{7.984964} = 1.25.$$

Так как индекс рентабельности $PI > 1$, то проект следует принять.

Срок окупаемости инвестиций (Payback Period, PP) рассчитывается в зависимости от равномерности распределения прогнозируемых доходов. Если доход распределен по годам равномерно, то срок окупаемости рассчитывается делением единовременных затрат на величину годового дохода. При получении дробного числа оно округляется в сторону увеличения до ближайшего целого. Если прибыль распределена неравномерно, то срок окупаемости рассчитывается прямым подсчетом числа лет, в течение которых инвестиция будет погашена кумулятивным доходом [4].

Срок окупаемости рассчитывается по формуле

$$PP = \frac{Z}{D}, \quad (3.23)$$

где Z – единовременные затраты;

D – величина годового дохода.

Срок окупаемости инвестиционного проекта численно равен

$$PP = \frac{7.984964}{4} = 1.99.$$

После округления до ближайшего целого срок окупаемости равен 2-м годам.

Приведенные расчеты показателей эффективности инвестиционного проекта спутникового Internet «НТВ-Плюс» показывают, что его необходимо принять.

3.3.4.4 Определение оптимального плана методом Гаусса-Жордана

Преобразуем симметричную форму записи математической модели (3.18) к стандартной форме.

$$Z - 1.527270 * X_1 - 0.741239 * X_2 - 1.374394 * X_3 - 0.145110 * X_4 - 0.530312 * X_5 = 0$$

при ограничениях (3.24)

$$\begin{cases} 5,4 * X_1 + 3,2 * X_2 + 2,931 * X_3 + 6,286 * X_4 + 5,9 * X_5 + S_1 = 6,5 \\ 2,006437 * X_1 + 1,5 * X_2 + 3,000547 * X_3 + 3,000575 * X_4 + \\ + 3,2 * X_5 + S_2 = 3,0 \\ 2,5 * X_2 + 2,0 * X_3 + 1,6 * X_5 + S_3 = 3,0 \\ 0,881832 * X_2 + 1,186 * X_5 + S_4 = 1,5 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \geq 0, i = \overline{1,5}, j = \overline{1,4}. \end{cases}$$

Преобразуем стандартную форму записи математической модели в симплекс-таблицу (таблица 3.13).

Таблица 3.13 – Начальное допустимое базисное решение

Базис	Z	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Решение
Z	1	-1,52	-0,74	-1,37	-0,14	-0,53	0	0	0	0	0
S ₁	0	5,4	3,2	2,931	6,286	5,9	1	0	0	0	6,5
S ₂	0	2,006	1,5	3,001	3,001	3,2	0	1	0	0	3,0
S ₃	0	0	2,5	2,0	0	1,6	0	0	1	0	3,0
S ₄	0	0	0,882	0	0	1,186	0	0	0	1	1,5

Определим включаемую X₁ и исключаемую S₁ переменные. На пересечении ведущего столбца и ведущей строки располагается ведущий элемент, равный 5,4 (таблица 3.14). Для определения нового базисного решения применяем вычислительные процедуры метода Гаусса-Жордана (таблица 3.15). Полученное новое базисное решение проверяем на оптимальность. Решение допустимое. Определим включаемую X₃ и исключаемую S₂ переменные. Ведущий элемент равен 1,911 (таблица 3.15). Определяем новое базисное решение (таблица 3.16).

Таблица 3.14 – Первая итерация

Базис	Z	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	S_1	S_2	S_3	S_4	Решение
Z	1	-1,527	-0,741	-1,374	-0,145	-0,53	0	0	0	0	0
S_1	0	5,4	3,2	2,931	6,286	5,9	1	0	0	0	6,5
S_2	0	2,006	1,5	3,001	3,001	3,2	0	1	0	0	3,0
S_3	0	0	2,5	2,0	0	1,6	0	0	1	0	3,0
S_4	0	0	0,882	0	0	1,186	0	0	0	1	1,5

Таблица 3.15 – Вторая итерация

Ба- зис	Z	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	S_1	S_2	S_3	S_4	Реше- ние
Z	1	0	0,164	-0,545	1,633	1,139	0,283	0	0	0	1,838
X_1	0	1	0,593	0,543	1,164	1,093	0,185	0	0	0	6,5
S_2	0	0	0,311	1,911	0,665	1,008	-0,372	1	0	0	3,0
S_3	0	0	2,5	2,0	0	1,6	0	0	1	0	3,0
S_4	0	0	0,882	0	0	1,186	0	0	0	1	1,5

Проверяем на оптимальность новое базисное решение. Решение оптимальное (таблица 3.16). Оптимальный план $X^* = \{1,0376; 0,0; 0,306; 0,0; 0,0\}$. Максимальное значение чистого приведенного эффекта равно 2,00526 миллиона рублей. Оптимальный проект ЗАО «NTV-Plus».

Таблица 3.16 – Оптимальное решение

Базис	Z	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	S_1	S_2	S_3	S_4	Решение
Z	1	0	0,253	0	1,822	1,426	0,177	0,285	0	0	2,00526
X_1	0	1	0,504	0	0,975	0,806	0,291	-0,284	0	0	1,0376
X_3	0	0	0,163	1	0,348	0,527	-0,19	0,513	0	0	0,306
S_3	0	0	2,175	0	-0,69	0,546	0,389	-1,05	1	0	2,388
S_4	0	0	0,882	0	0	1,186	0	0	0	1	1,5

3.3.4.5 Определение оптимального плана методом модифицированное Жорданово исключение

Оптимальный план математической модели определяется методом модифицированное Жорданово исключение. Алгоритм метода модифицированное Жорданово исключение включает 4 этапа.

Этап 1. Разрешающий элемент Жордановой таблицы заменяется обратной величиной.

Этап 2. Остальные элементы разрешающей строки делятся на разрешающий элемент. Знаки не меняются.

Этап 3. Остальные элементы разрешающего столбца делятся на разрешающий элемент и меняют знаки на противоположные.

Этап 4. Оставшиеся элементы новой Жордановой таблицы рассчитываются по правилу прямоугольника.

Преобразуем стандартную форму записи математической модели (3.24) в форму записи для представления в виде Жордановой таблицы

$$Z - 1.527270 * X_1 - 0.741239 * X_2 - 1.374394 * X_3 - 0.145110 * X_4 - 0.530312 * X_5 = 0$$

при ограничениях (3.25)

$$\begin{cases} X_6 = 6,5 - 5,4 * X_1 - 3,2 * X_2 - 2,931 * X_3 - 6,286 * X_4 - 5,9 * X_5 \\ X_7 = 3,0 - 2,006437 * X_1 - 1,5 * X_2 - 3,000547 * X_3 - 3,000575 * X_4 - 3,2 * X_5 \\ X_8 = 3,0 - 2,5 * X_2 - 2,0 * X_3 - 1,6 * X_5 \\ X_9 = 1,5 - 0,881832 * X_2 - 1,186 * X_5 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9 \geq 0, i = \overline{1,5}, j = \overline{1,4}. \end{cases}$$

Преобразуем математическую модель (3.25) в Жорданову таблицу (таблица 3.17).

Таблица 3.17 – Начальное допустимое базисное решение

Базисные переменные	1	$-X_1$	$-X_2$	$-X_3$	$-X_4$	$-X_5$
$X_6 =$	6,500000	5,400000	3,200000	2,931000	6,286000	5,900000
$X_7 =$	3,000000	2,006437	1,500000	3,000547	3,000575	3,200000
$X_8 =$	3,000000	0,000000	2,500000	2,000000	0,000000	1,600000
$X_9 =$	1,500000	0,000000	0,881832	0,000000	0,000000	1,186000
$Z =$	0,000000	-1,52727	-0,74123	-1,37439	-0,14511	-0,53031

Начальное допустимое базисное решение $X = \{0, 0, 0, 0, 0\}$ и $Z = 0$. Определяем разрешающий столбец по наибольшему абсолютному значению отрицательных элементов Z-строки: -1,527270. Включаемая переменная X_1 . Определяем разрешающую строку по наименьшему симплексному отношению. Исключаемая переменная X_6 . Разрешающий элемент 5,4. Выполняем шаг Жорданова исключения. Получаем новую Жорданову таблицу

(таблица 3.18). Проверяем новый план на оптимальность. В Z-строке Жордановой таблицы имеется отрицательное значение $-0,545426$, следовательно решение допустимое и его можно улучшить [5, 6, 7].

Выполняем итерацию. Определяем разрешающий столбец Жордановой таблицы (таблица 3.18): $-0,545426$. Включаемая переменная X_3 . Исключаемая переменная X_7 . Разрешающий элемент $1,911498$.

Таблица 3.18 – Первая итерация

Базисные переменные	1	$-X_6$	$-X_2$	$-X_3$	$-X_4$	$-X_5$
$X_1 =$	1,203704	0,185185	0,592593	0,542778	1,164074	1,092593
$X_7 =$	0,584844	-0,37156	0,311000	1,911498	0,664934	1,007782
$X_8 =$	3,000000	0,000000	2,500000	2,000000	0,000000	1,600000
$X_9 =$	1,500000	0,000000	0,881832	0,000000	0,000000	1,186000
$Z =$	1,838381	0,282828	0,163810	-0,54542	1,632745	1,138372

Выполняем шаг Жорданова исключения. Получаем новую Жорданову таблицу (таблица 3.19).

Таблица 3.19 – Вторая итерация. Оптимальное решение

Базисные переменные	1	$-X_6$	$-X_2$	$-X_7$	$-X_4$	$-X_5$
$X_1 =$	1,037635	0,290692	0,504283	-0,28395	0,975263	0,806429
$X_3 =$	0,305961	-0,19438	0,162700	0,523150	0,347860	0,527221
$X_8 =$	2,388077	0,388766	2,174600	-1,04630	-0,69572	0,545558
$X_9 =$	1,500000	0,000000	0,881832	0,000000	0,000000	1,186000
$Z =$	2,005260	0,176806	0,252551	0,285340	1,822477	1,425932

Проверяем новый план на оптимальность. В Z-строке Жордановой таблицы отсутствуют отрицательные значения, следовательно, решение оптимальное и его улучшить невозможно. Оптимальный план $X^* = \{1,0376; 0,0; 0,306; 0,0; 0,0\}$. Максимальное значение чистого приведенного эффекта равно $2,00526$ миллиона рублей. Оптимальный проект ЗАО «НТВ-Плюс» [8, 9, 10].

3.3.4.6 Определение целочисленного оптимального плана методом отсекающих плоскостей

Целочисленное линейное программирование ориентировано на решение задач линейного программирования, в которых все или некоторые переменные принимают целочисленные значения.

Целочисленная математическая модель имеет вид

$$\max \leftarrow Z = 1.527270 * X_1 + 0.741239 * X_2 + 1.374394 * X_3 + 0.145110 * X_4 + 0.530312 * X_5$$

при ограничениях

$$(3.26)$$

$$\begin{cases} 5,4 * X_1 + 3,2 * X_2 + 2,931 * X_3 + 6,286 * X_4 + 5,9 * X_5 \leq 6,5 \\ 2,006437 * X_1 + 1,5 * X_2 + 3,000547 * X_3 + 3,000575 * X_4 + 3,2 * X_5 \leq 3,0 \\ 2,5 * X_2 + 2,0 * X_3 + 1,6 * X_5 \leq 3,0 \\ 0,881832 * X_2 + 1,186 * X_5 \leq 1,5 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \geq 0 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 - \text{целые числа.} \end{cases}$$

Решим непрерывную задачу. Приведем к стандартной форме и составим исходную Жорданову таблицу (таблица 3.20).

Таблица 3.20 – Начальная Жорданова таблица

БП	1	-X ₁	-X ₂	-X ₃	-X ₄	-X ₅
X ₆ =	6.5	5.4	3.2	2.931	6.286	5.9
X ₇ =	3.0	2.006437	1.5	3.000547	3.000575	3.2
X ₈ =	3.0	0.0	2.5	2.0	0.0	1.6
X ₉ =	1.5	0.0	0.881832	0.0	0.0	1.186
Z=	0	-1.52727	-0.741239	-1.374394	-0.14511	-0.530312

В таблице 3.21 приведена первая итерация.

Таблица 3.21 – Первая итерация

БП	1	-X ₆	-X ₂	-X ₃	-X ₄	-X ₅
X ₁ =	6.5/5.4	1/5.4	3.2/5.4	2.931/5.4	6.286/5.4	5.9/5.4
X ₇ =	0,58484	-0,371563	0,311	1,911498	0,664934	1,007782
X ₈ =	3,0	0	2,5	2,0	0	1,6
X ₉ =	1,5	0	0,881832	0	0	1,186
Z=	1,83838	0,282827	0,16381	-0,545426	1,632745	1,138371

В таблице 3.22 приведено оптимальное решение непрерывной задачи. Переход ко второму этапу алгоритма Гомори.

Выбирается базисная переменная X_3 с наибольшей дробной частью: $\{X_3\} > \{X_1\}$, $\{0.305961\} > \{1.037635\}$, $0.305961 > 0.037635$. Для переменной X_3 составляется уравнение.

Таблица 3.22 – Оптимальное решение непрерывной задачи.

Вторая итерация

БП	1	- X_6	- X_2	- X_7	- X_4	- X_5
$X_1=$	1,037635	0,290692	0,504283	-0,283954	0,975263	0,806429
$X_3=$	0,305961	-0,194383	0,1627	0,52315	0,34786	0,527221
$X_8=$	2,388078	0,388766	2,174601	-1,0463	-0,69572	0,545558
$X_9=$	1,5	0	0,881832	0	0	1,186
$Z=$	2,00526	0,176807	0,252551	0,28534	1,822477	1,425931

В таблице 3.23 и таблице 3.24 представлены расширенная задача и 3-я итерация.

Таблица 3.23 – Расширенная задача с первым дополнительным ограничением

БП	1	- X_6	- X_2	- X_7	- X_4	- X_5
$X_1=$	1,037635	0,290692	0,504283	-0,283954	0,975263	0,806429
$X_3=$	0,305961	-0,194383	0,1627	0,52315	0,34786	0,527221
$X_8=$	2,388078	0,388766	2,174601	-1,0463	-0,69572	0,545558
$X_9=$	1,5	0	0,881832	0	0	1,186
$X_{10}=$	-0,30596	0,194383	-0,1627	-0,52315	-0,34786	-0,527221
$Z=$	2,00526	0,176807	0,252551	0,28534	1,822477	1,425931

Таблица 3.24 – Третья итерация

БП	1	- X_6	- X_2	- X_7	- X_4	- X_{10}
$X_1=$	0,569642	0,588017	0,25542	-1,084156	0,443182	1,529584
$X_3=$	0	0	0	0	0	1
$X_8=$	2,071475	0,58991	2,006242	-1,587645	-1,055679	1,034781
$X_9=$	0,811731	0,437271	0,515833	-1,176842	-0,782522	2,249531
$X_5=$	0,580328	-0,368694	0,308599	0,992278	0,659799	-1,896738
$Z=$	1,177753	0,702539	-0,18749	-1,129581	0,881649	2,704617

В таблице 3.25 приведено оптимальное нецелочисленное решение.

В таблице 3.26 представлена расширенная задача со вторым дополнительным ограничением.

В таблице 3.27 приведена пятая итерация.

Таблица 3.25 – Оптимальное нецелочисленное решение.

Четвертая итерация

БП	1	-X ₆	-X ₂	-X ₅	-X ₄	-X ₁₀
X ₁ =	1,203704	0,185185	0,592593	1,09259	1,164074	-0,542779
X ₃ =	0	0	0	0	0	1
X ₈ =	3	0	2,5	1,6	0	-2
X ₉ =	1,5	0	0,881832	1,186	0	0
X ₇ =	0,584844	-0,371563	0,311001	1,007782	0,664934	-1,911499
Z=	1,838386	0,282829	0,16381	1,13837	1,632745	0,545424

Таблица 3.26 – Расширенная задача со вторым дополнительным ограничением

БП	1	-X ₆	-X ₂	-X ₅	-X ₄	-X ₁₀
X ₁ =	1,203704	0,185185	0,592593	1,09259	1,164074	-0,542779
X ₃ =	0	0	0	0	0	1
X ₈ =	3	0	2,5	1,6	0	-2
X ₉ =	1,5	0	0,881832	1,186	0	0
X ₇ =	0,584844	-0,371563	0,311001	1,007782	0,664934	-1,911499
X ₁₁ =	-0,203704	-0,185185	-0,592593	-0,09259	-0,164074	0,542779
Z=	1,838386	0,282829	0,16381	1,13837	1,632745	0,545424

Таблица 3.27 – Отсечение дробной части переменной X₁.

Пятая итерация

БП	1	-X ₆	-X ₁₁	-X ₅	-X ₄	-X ₁₀
X ₁ =	1	0	1	1	1	0
X ₃ =	0	0	0	0	0	1
X ₈ =	2,14062	-0,781249	4,21875	1,20939	-0,692187	0,289847
X ₉ =	1,19687	-0,275572	1,48809	1,04822	-0,244157	0,807704
X ₇ =	0,477937	-0,468751	0,524814	0,959189	0,578826	-1,62664
X ₂ =	0,34375	0,312499	-1,6875	0,156246	0,276875	-0,915939
Z=	1,78208	0,231638	0,276429	1,11278	1,58739	0,695464

В таблице 3.28 и таблице 3.29 представлены расширенная задача и оптимальное целочисленное решение.

Таблица 3.28 – Расширенная задача с третьим дополнительным ограничением

БП	1	$-X_6$	$-X_{11}$	$-X_5$	$-X_4$	$-X_{10}$
$X_1=$	1	0	1	1	1	0
$X_3=$	0	0	0	0	0	1
$X_8=$	2,14062	-0,781249	4,21875	1,20939	-0,692187	0,289847
$X_9=$	1,19687	-0,275572	1,48809	1,04822	-0,244157	0,807704
$X_7=$	0,477937	-0,468751	0,524814	0,959189	0,578826	-1,62664
$X_2=$	0,34375	0,312499	-1,6875	0,156246	0,276875	-0,915939
$X_{12}=$	-0,34375	-0,312499	0,68785	-0,156246	-0,276875	0,915939
$Z=$	1,78208	0,231638	0,276429	1,11278	1,58739	0,695464

Таблица 3.29 – Оптимальное целочисленное решение. Шестая итерация

БП	1	$-X_{12}$	$-X_{11}$	$-X_5$	$-X_4$	$-X_{10}$
$X_1=$	1	0	1	1	1	0
$X_3=$	0	0	0	0	0	1
$X_8=$	3	-2,5	2,5	1,60001	0	-2
$X_9=$	1,5	-0,881833	0,88183	1,186	0	0
$X_7=$	0,993565	-1,50001	-0,506442	1,19356	0,994141	-3,00056
$X_2=$	0	1	-1	0	0	0
$X_6=$	1,1	-3,20001	-2,20001	0,499989	0,886003	-2,93101
$Z=$	1,52727	0,741244	0,786034	0,996964	1,38216	1,3744

Оптимальный целочисленный план $\bar{X}^* = \{X_1^*, X_2^*, X_3^*, X_4^*, X_5^*\} = \{1, 0, 0, 0, 0\}$. Значение целевой функции $Z=1.52727$.

3.3.4.7 Определение оптимального плана методом ветвей и границ

Решим непрерывную задачу. Приведем математическую модель 3.26 к стандартной форме и составим исходную Жорданову таблицу (таблица 3.30).

$$\max \leftarrow Z = 1.527270 * X_1 + 0.741239 * X_2 + 1.374394 * X_3 + 0.145110 * X_4 + 0.530312 * X_5$$

при ограничениях

$$\begin{cases} X_6 = 6,5 - 5,4 * X_1 - 3,2 * X_2 - 2,931 * X_3 - 6,286 * X_4 - 5,9 * X_5 \\ X_7 = 3,0 - 2,006437 * X_1 - 1,5 * X_2 - 3,000547 * X_3 - \\ - 3,000575 * X_4 - 3,2 * X_5 \\ X_8 = 3,0 - 2,5 * X_2 - 2,0 * X_3 - 1,6 * X_5 \\ X_9 = 1,5 - 0,881832 * X_2 + 1,186 * X_5 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \geq 0 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 - \text{целые числа.} \end{cases}$$

Итерация 1. Предварительные условия:

1 Задача 1;

2 Нижняя граница $Z_0^{(1)} = 0$.

Этап 1. Выбираем задачу 1 и решаем ее. Получаем оптимальный план $\bar{x}^{(1)} = (1,037635, 0, 0,305961, 0, 0)$, $f(\bar{x}^{(1)}) = 2,00526$.

Этап 2. Задача 1 имеет решение. Переход на 3 этап.

Этап 3. $f(\bar{x}^{(1)}) = 2,00526 > Z_0^{(1)} = 0$. Переход на 4 этап.

Этап 4. Переменные имеют дробные значения. Переход на 5 этап.

Этап 5. Задача 1 исключается из списка. В список включаются две новые задачи: 2 и 3.

Таблица 3.30 – Начальная Жорданова таблица

БП	1	-X ₁	-X ₂	-X ₃	-X ₄	-X ₅
X ₆ =	6.5	5.4	3.2	2.931	6.286	5.9
X ₇ =	3.0	2.006437	1.5	3.000547	3.000575	3.2
X ₈ =	3.0	0.0	2.5	2.0	0.0	1.6
X ₉ =	1.5	0.0	0.881832	0.0	0.0	1.186
Z=	0	-1.52727	-0.741239	-1.374394	-0.14511	-0.530312

В таблице 3.31 приведено допустимое решение.

Таблица 3.31 – Допустимое решение

БП	1	-X ₆	-X ₂	-X ₃	-X ₄	-X ₅
X ₁ =	6.5/5.4	1/5.4	3.2/5.4	2.931/5.4	6.286/5.4	5.9/5.4
X ₇ =	0,58484	-0,371563	0,311	1,911498	0,664934	1,007782

Продолжение таблицы 3.31

$X_8=$	3,0	0	2,5	2,0	0	1,6
$X_9=$	1,5	0	0,881832	0	0	1,186
$Z=$	1,83838	0,282827	0,16381	-0,545426	1,632745	1,138371

В таблице 3.32 приведено оптимальное решение непрерывной задачи.

Таблица 3.32 – Оптимальное решение непрерывной задачи

БП	1	$-X_6$	$-X_2$	$-X_7$	$-X_4$	$-X_5$
$X_1=$	1,037635	0,290692	0,504283	-0,283954	0,975263	0,806429
$X_3=$	0,305961	-0,194383	0,1627	0,52315	0,34786	0,527221
$X_8=$	2,388078	0,388766	2,174601	-1,0463	-0,69572	0,545558
$X_9=$	1,5	0	0,881832	0	0	1,186
$Z=$	2,00526	0,176807	0,252551	0,28534	1,822477	1,425931

Задача 2

$$\max \leftarrow Z = 1.527270 * X_1 + 0.741239 * X_2 + 1.374394 * X_3 + 0.145110 * X_4 + 0.530312 * X_5$$

при ограничениях

(3.27)

$$\left\{ \begin{array}{l} 5,4 * X_1 + 3,2 * X_2 + 2,931 * X_3 + 6,286 * X_4 + 5,9 * X_5 \leq 6,5 \\ 2,006437 * X_1 + 1,5 * X_2 + 3,000547 * X_3 + 3,000575 * X_4 + 3,2 * X_5 \leq 3,0 \\ 2,5 * X_2 + 2,0 * X_3 + 1,6 * X_5 \leq 3,0 \\ 0,881832 * X_2 + 1,186 * X_5 \leq 1,5 \\ X_1 \leq 1 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \geq 0 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 - \text{целые числа.} \end{array} \right.$$

Задача 3

$$\max \leftarrow Z = 1.527270 * X_1 + 0.741239 * X_2 + 1.374394 * X_3 + 0.145110 * X_4 + 0.530312 * X_5$$

при ограничениях

(3.28)

$$\left\{ \begin{array}{l} 5,4 * X_1 + 3,2 * X_2 + 2,931 * X_3 + 6,286 * X_4 + 5,9 * X_5 \leq 6,5 \\ 2,006437 * X_1 + 1,5 * X_2 + 3,000547 * X_3 + 3,000575 * X_4 + \\ + 3,2 * X_5 \leq 3,0 \\ 2,5 * X_2 + 2,0 * X_3 + 1,6 * X_5 \leq 3,0 \\ 0,881832 * X_2 + 1,186 * X_5 \leq 1,5 \\ X_1 \geq 2 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \geq 0 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 - \text{целые числа.} \end{array} \right.$$

Оптимальное решение $\bar{X}^* = (1, 0, 0, 0, 0)$, $f(\bar{X}^*) = 1,527270$.

3.3.5 Программный комплекс определения оптимального варианта распределенной вычислительной сети

Программный комплекс определяет оптимальный проект распределенной вычислительной сети. Архитектура программного комплекса – трехуровневая модель приложения, включающая представление, бизнес-логику, данные.

Уровень представления – интерфейс, обеспечивающий взаимодействие пользователя с приложением.

Уровень бизнес-логики – правило обработки данных.

Уровень данных – взаимодействие с базой данных.

Программный комплекс позволяет выполнить следующие функции.

- 1 Ввод исходных данных.
 - 2 Реализация метода экспертных оценок.
 - 3 Определение оптимального варианта распределенной вычислительной сети.
 - 4 Поиск по базе данных.
 - 5 Добавление в базу данных.
 - 6 Редактирование характеристик оборудования.
 - 7 Просмотр сетевого оборудования.
 - 8 Вывод списка сетевого оборудования.
- Программный комплекс реализован на языке Qt Creator C++.
- После запуска программы появляется окно-заставка (рисунок 3.2).

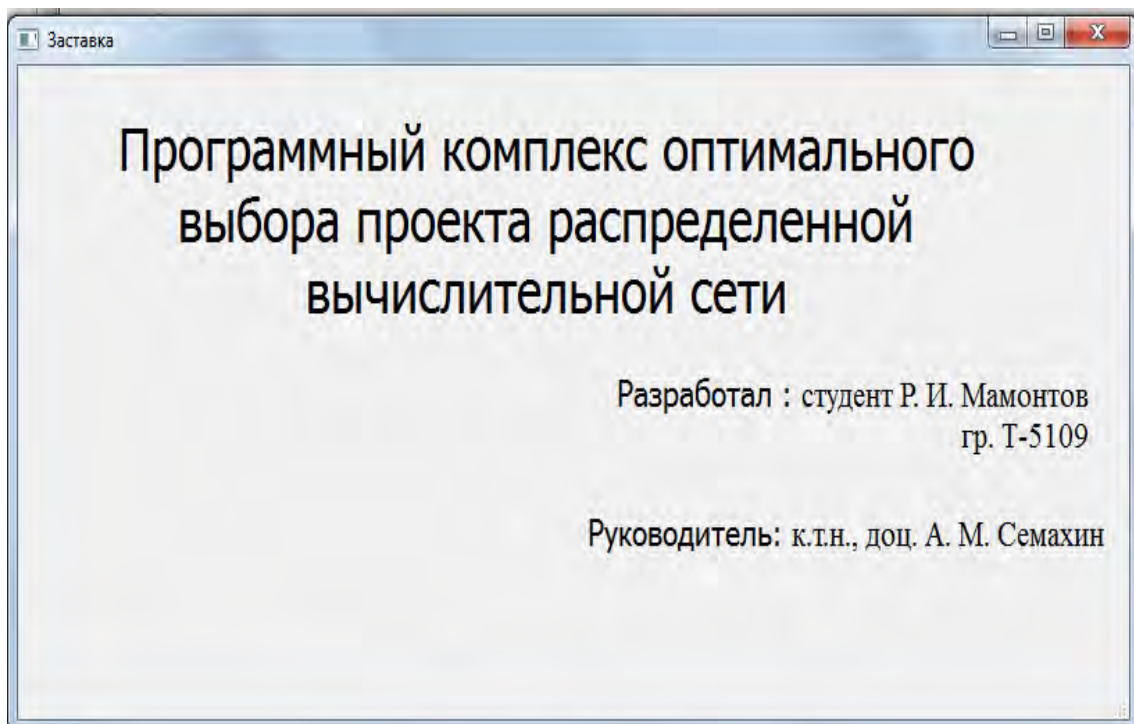


Рисунок 3.2 – Заставка программного комплекса

Исходные данные вводятся в соответствии с техническим заданием (рисунок 3.3 – рисунок 3.5).

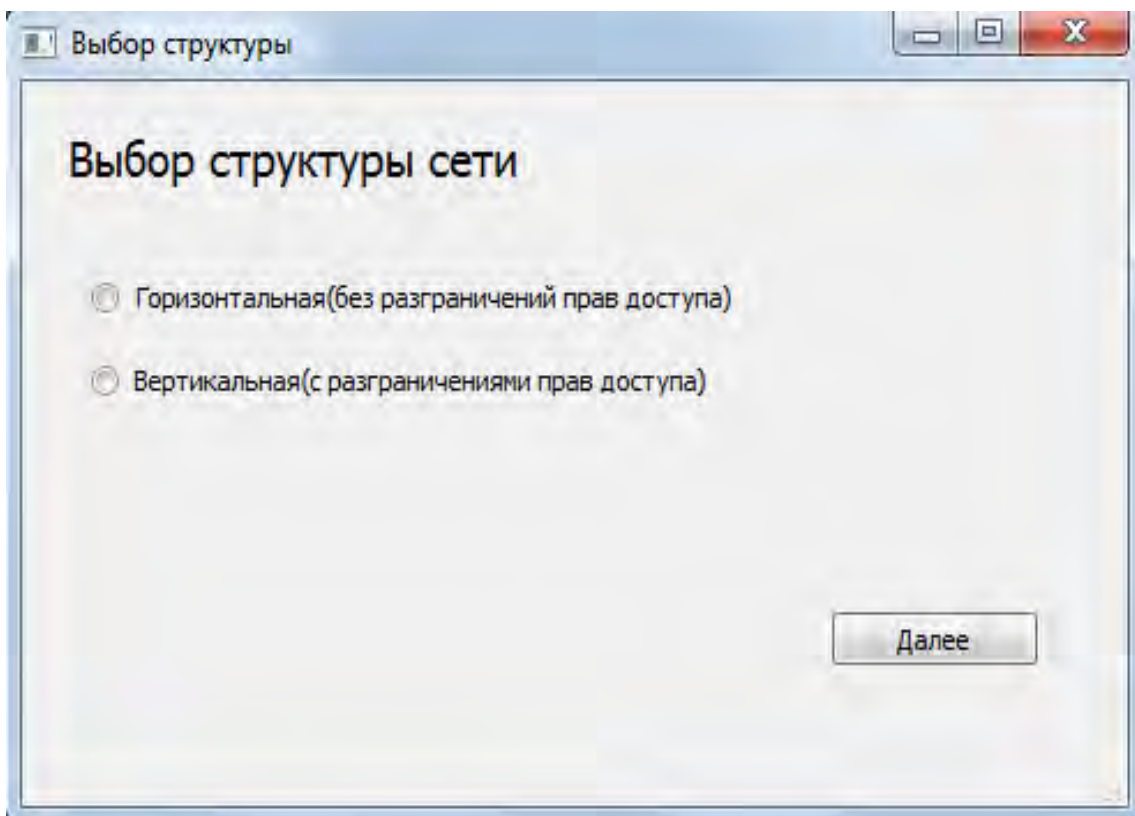


Рисунок 3.3 – Выбор структуры сети

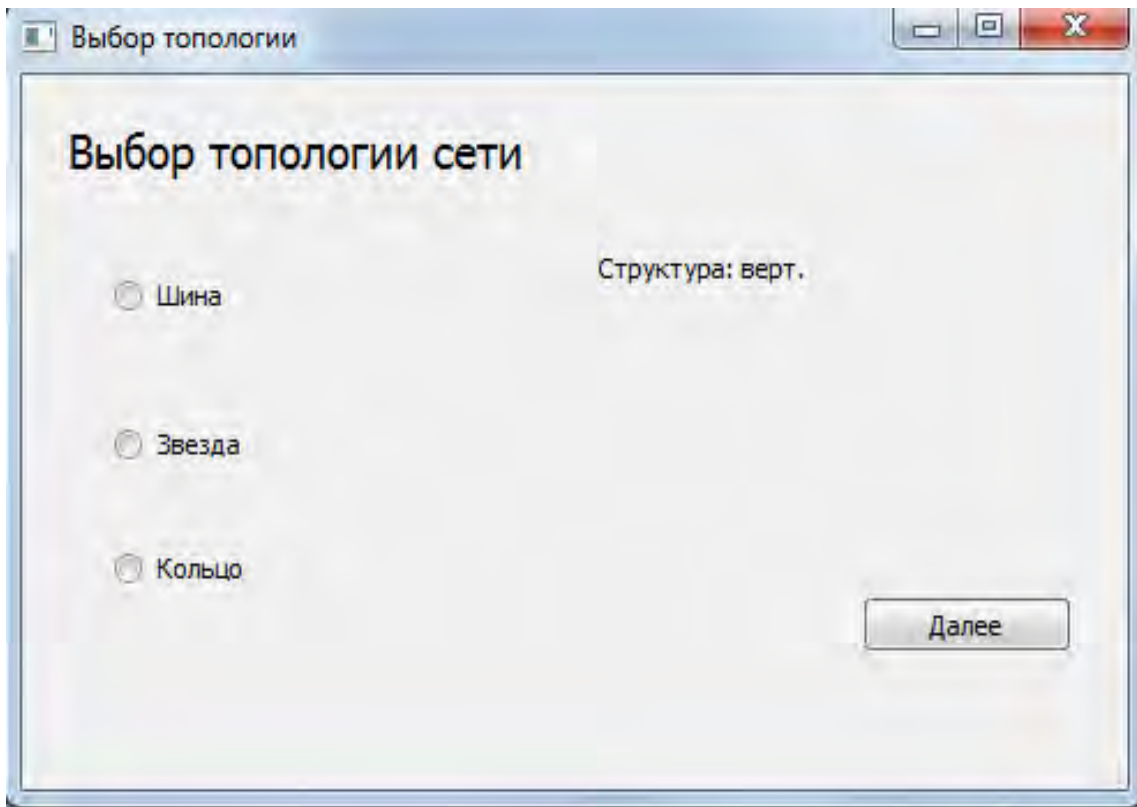


Рисунок 3.4 – Выбор топологии вычислительной сети

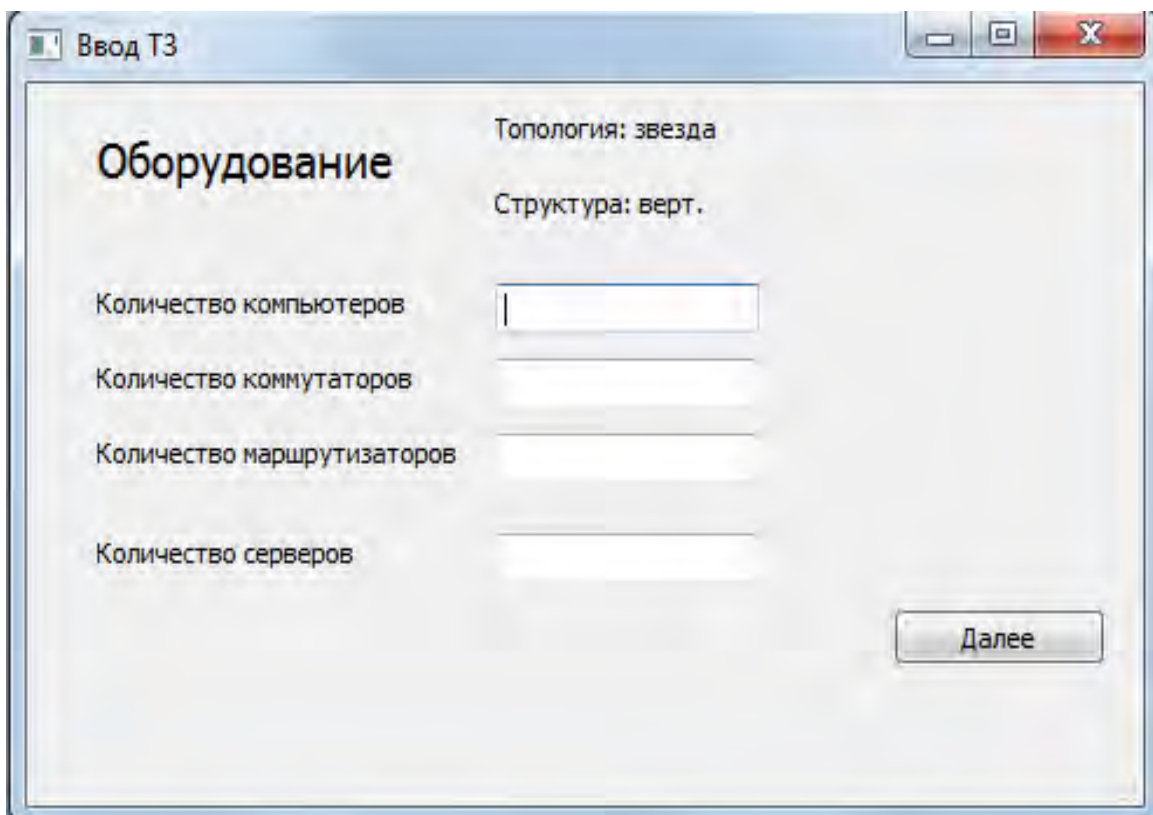


Рисунок 3.5 – Ввод данных по рабочим станциям и сетевому оборудованию

После ввода исходных данных реализуется первый этап – формирование альтернативных проектов с использованием метода экспертных оценок (рисунок 3.6 – рисунок 3.7).

Количество групп и число экспертов в группах можно изменять в программном комплексе.

Результат работы экспертов представляется в графическом виде (рисунок 3.8 – рисунок 3.9).

Суммарные затраты на реализацию проектов приведены на рисунке 3.10.

Второй этап математической модели – выбор оптимального варианта проекта распределенной вычислительной сети из числа альтернативных вариантов первого этапа (рисунок 3.11).

Оптимальное решение получается после нажатия кнопки <Рассчитать> (рисунок 3.12).

Программный комплекс позволяет просматривать оптимальное решение по итерациям и выводить схему вычислительной сети [11].

3.3.6 Вопросы

- 1 Что понимается под моделированием информационных систем?
- 2 Какие виды математического моделирования информационных систем существуют?
- 3 Какие этапы включает процесс математического моделирования информационных систем?
- 4 Какие методы линейного программирования применяют в моделировании информационных систем,
- 5 Какие методы целочисленного программирования применяют в моделировании информационных систем?

3.3.7 Самостоятельная работа

«Разработка программы выбора оптимального проекта информационной системы организации»

Разработайте математическую модель выбора оптимального проекта информационной системы организации.

Разработайте программу, формализующую математическую модель выбора оптимального проекта информационной системы организации на языке C++.

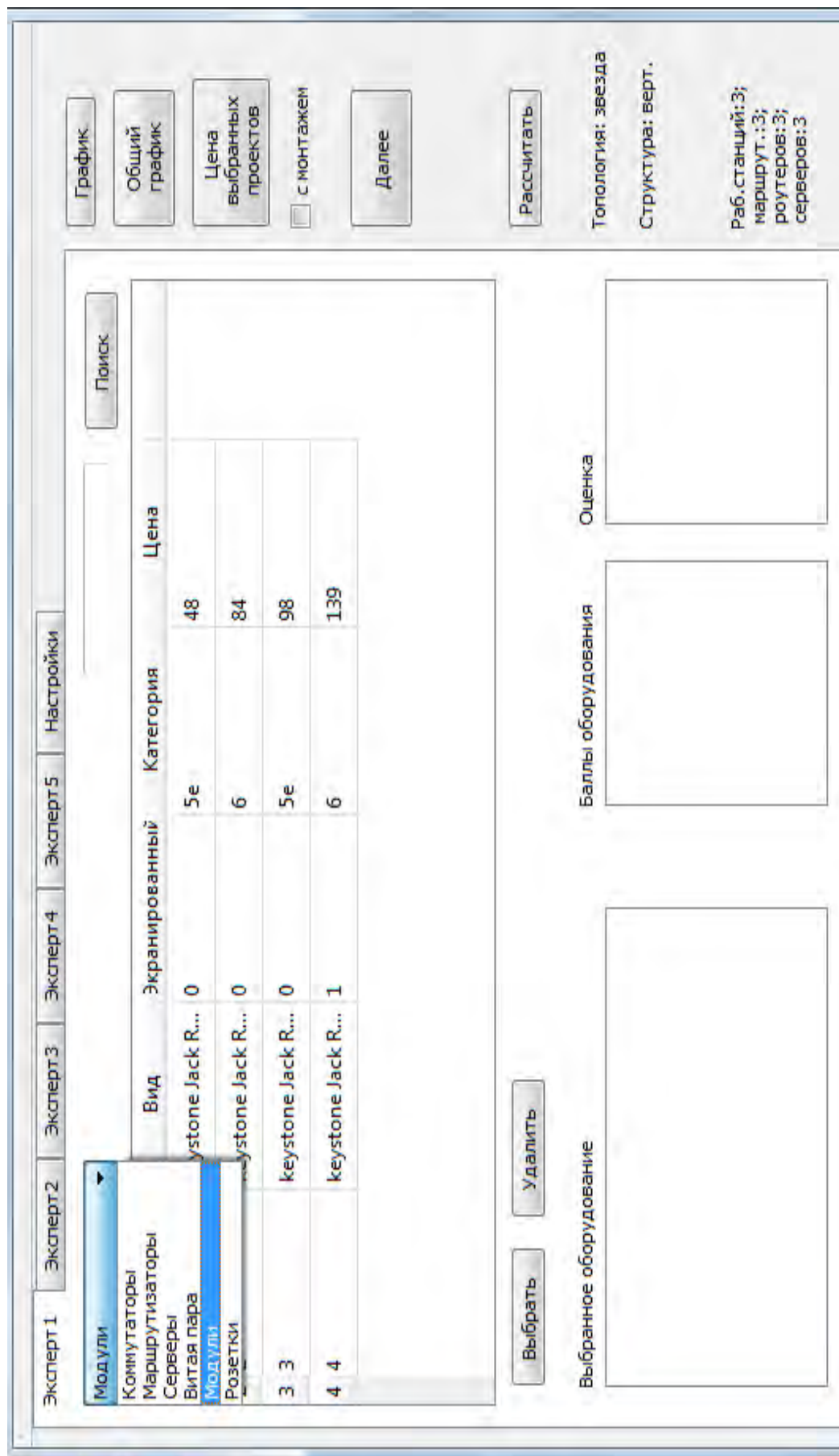


Рисунок 3.6 – Первый эксперт первой группы. Выбор оборудования

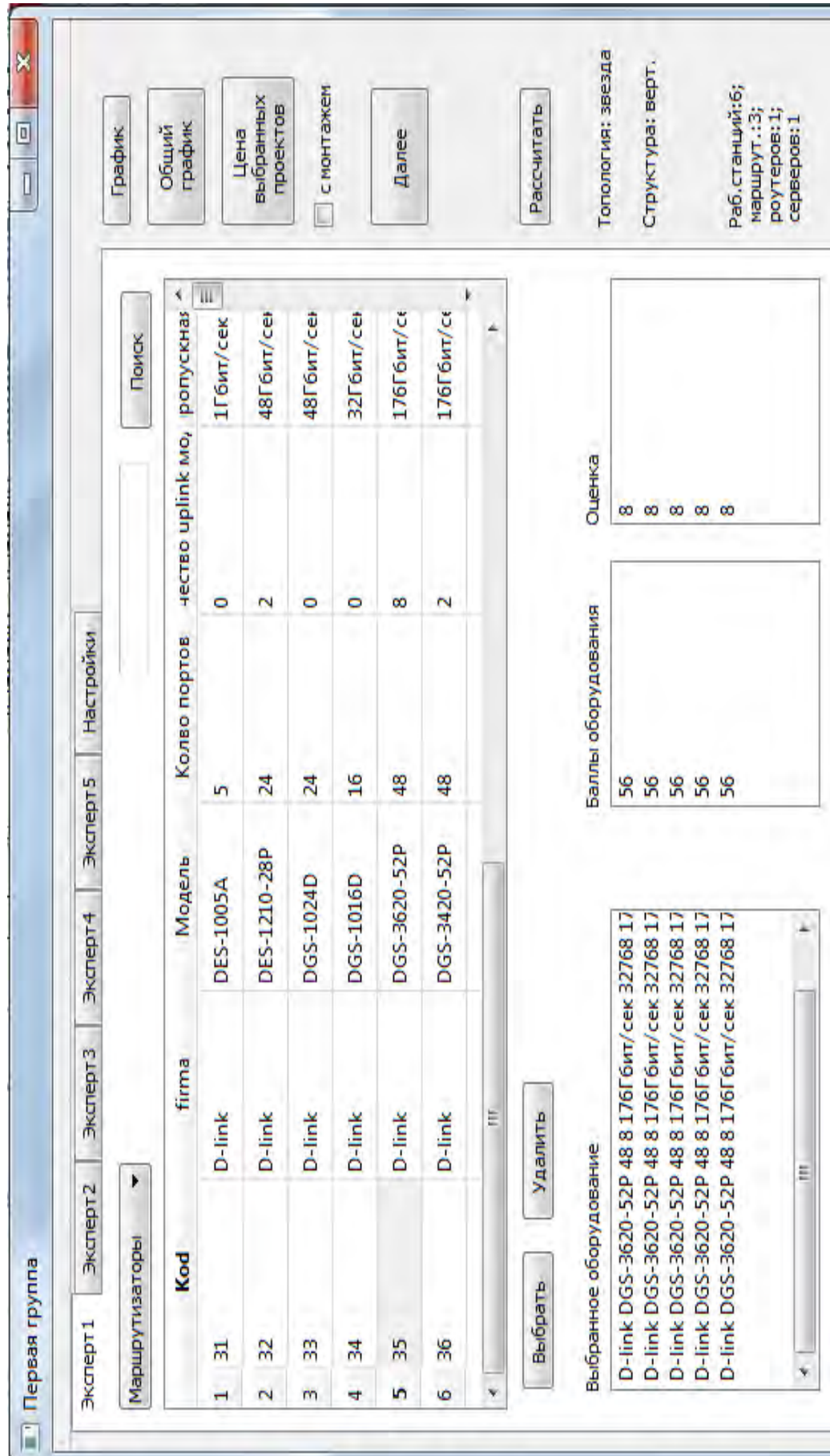


Рисунок 3.7 – Результат выбора первого эксперта первой группы

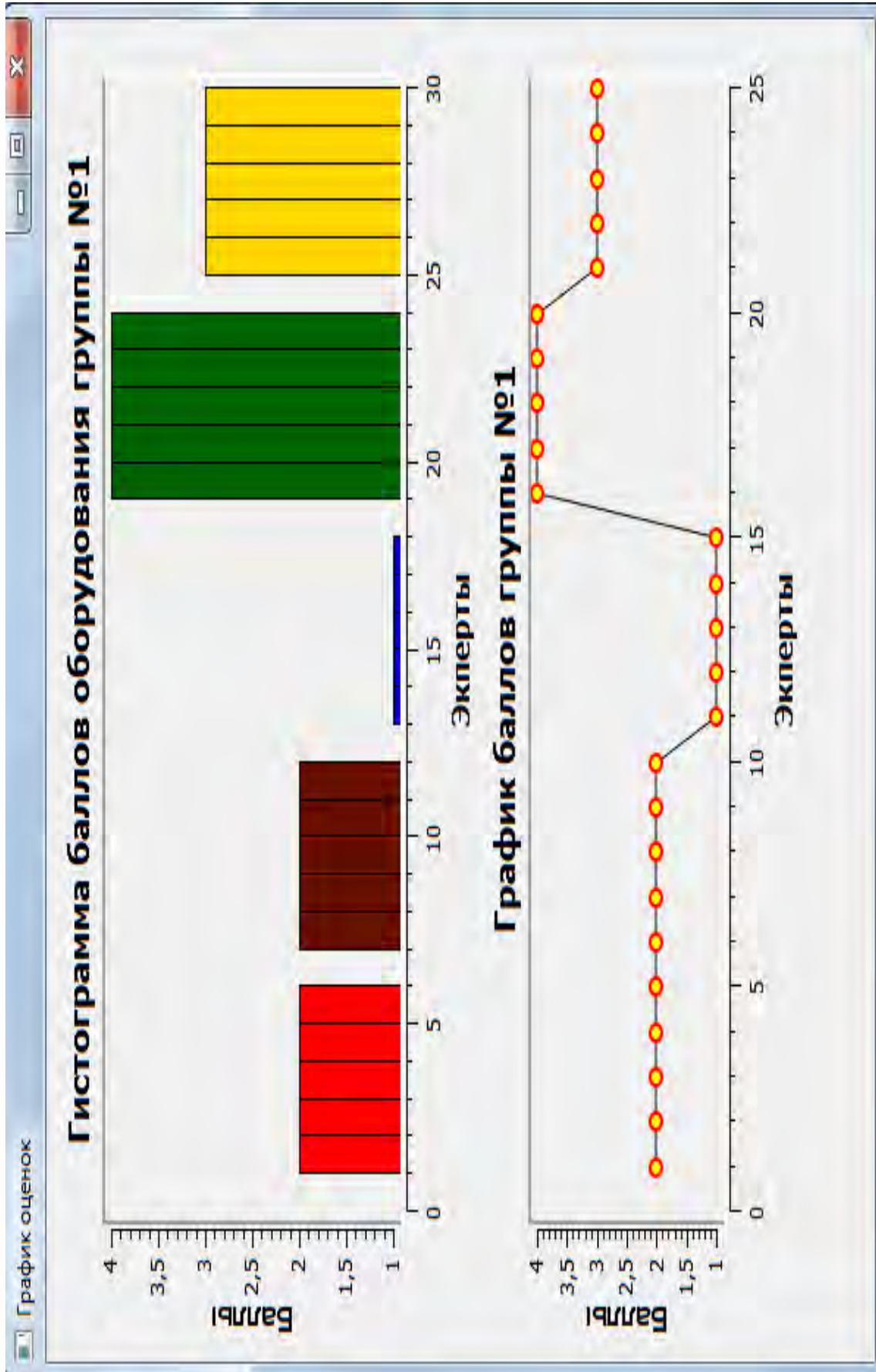


Рисунок 3.8 – Результат работы экспертов первой группы

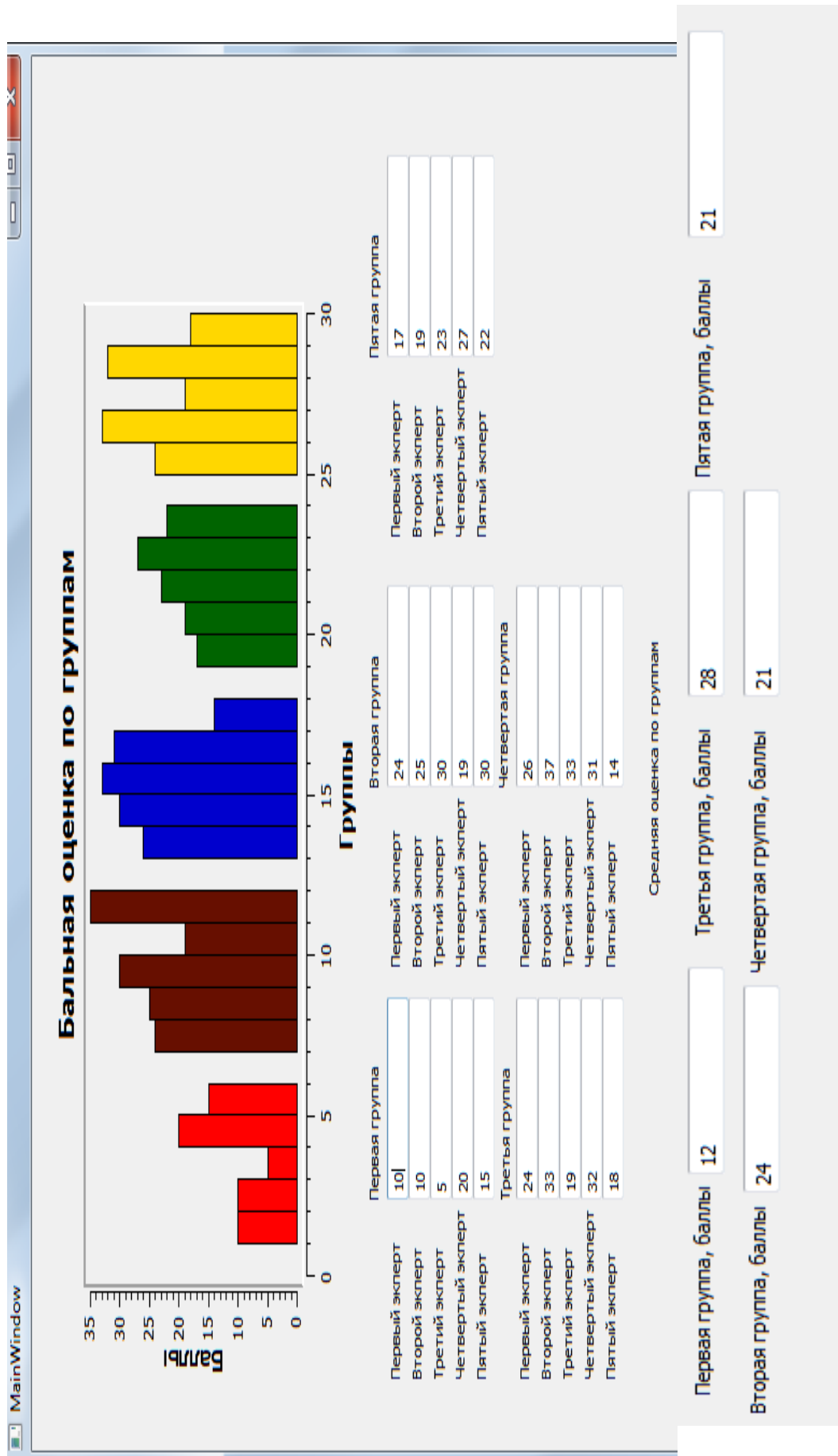


Рисунок 3.9 – Результаты работы групп экспертов

Цены

Суммарные затраты на проекты, руб

1: 87999 2: 156991 217 222998 4: 168199 | 5: 189259

	Стоимость сетевого оборудования	Затраты на установку	Затраты на доставку
Первый проект	24884	20648	6518
Второй проект	109199	8492	9481
Третий проект	165849	15681	9849
Четвертый проект	156974	16830	9165
Пятый проект	120681	17941	16519

Рисунок 3.10 – Суммарные затраты на реализацию проектов

Первая группа

Эксперт 1 | Эксперт 2 | Эксперт 3 | Эксперт 4 | Эксперт 5 | Настройки

Продолжительность проекта, лет: 4

Выделенная сумма, млн. руб: 4

Продолжительность посл. инвест. денег, лет: 3

Прогнозируемая инфляция, %: 0,3

Норма дисконта: 0,1

Количество проектов на второй этап: 3

Инвестиции(общие)

Первый период, млн. рублей: 2

Первый период, млн. рублей: 0,0015

Второй период, млн. рублей: 1

Второй период, млн. рублей: 0,0068

Третий период, млн. рублей: 1

Третий период, млн. рублей: 0,005

Инвестиции(первый проект)

Первый период, млн. рублей: 0,1

Первый период, млн. рублей: 0,1

Второй период, млн. рублей: 0,0084

Второй период, млн. рублей: 0,009

Третий период, млн. рублей: 0,0054

Третий период, млн. рублей: 0

Инвестиции(второй проект)

Первый период, млн. рублей: 0,1

Второй период, млн. рублей: 0,009

Третий период, млн. рублей: 0

Инвестиции(третий проект)

Первый период, млн. рублей: 0,0084

Второй период, млн. рублей: 0,0054

Третий период, млн. рублей: 0

График

Общий график

Цена выбранных проектов

с монтажем

Далее

Рассчитать

Топология: звезда

Структура: верт.

Раб. станций: 6;
маршрут.: 3;
роутеров: 1;
серверов: 1

Рисунок 3.11 – Ввод данных для реализации второго этапа математической модели

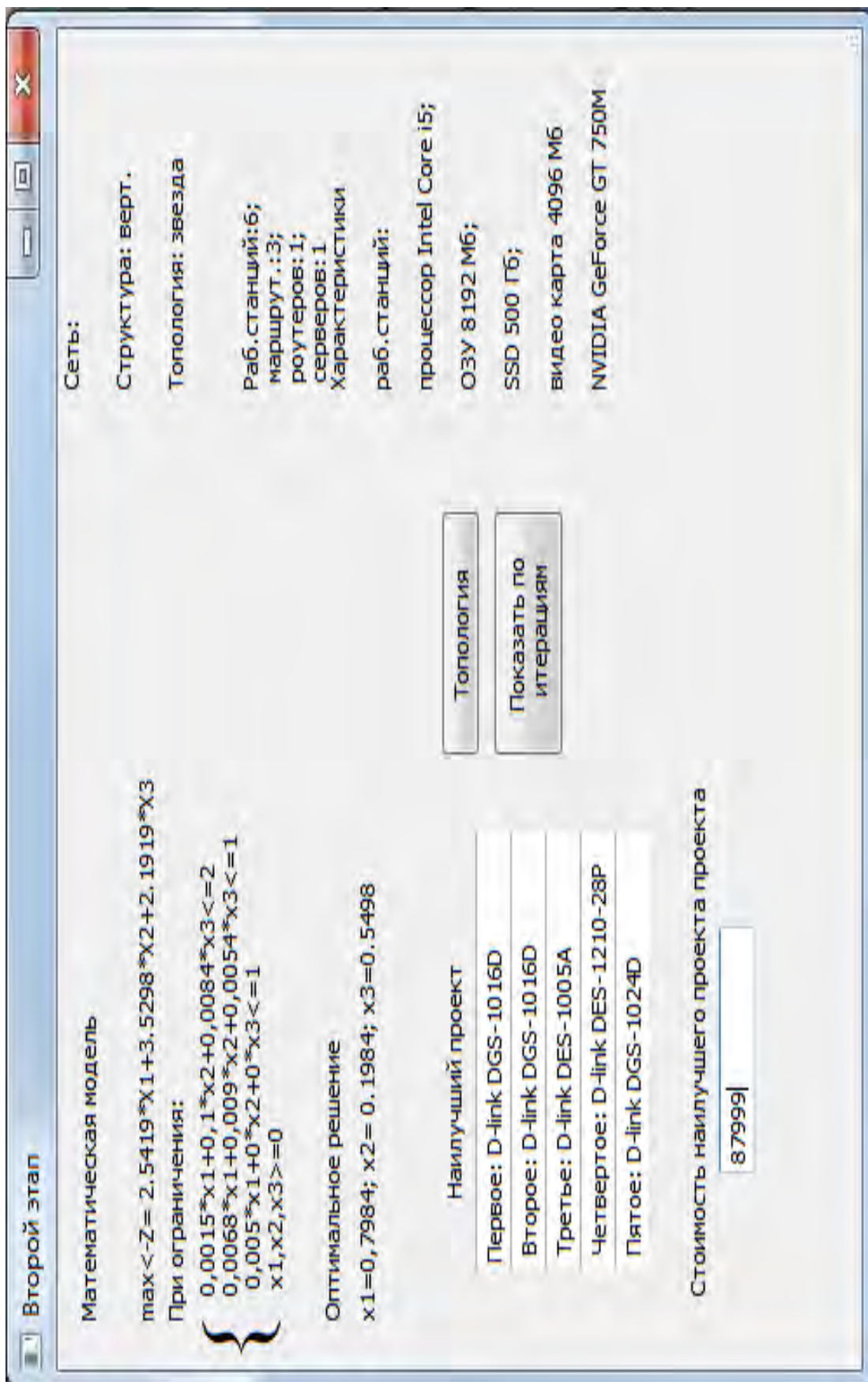


Рисунок 3.12 – Оптимальное решение

3.3.7.1 Требования к самостоятельной работе

1 Выбрать вариант задания по последней цифре номера зачетной книжки.

2 Разработать математическую модель выбора оптимального проекта информационной системы.

3 Разработать алгоритм решения задачи.

4 Разработать программу выбора оптимального проекта информационной системы.

5 Оформить отчет по самостоятельной работе.

Содержание отчета должно включать:

Титульный лист.

Введение.

1 Постановка задачи.

2 Описание алгоритма решения задачи.

3 Математическая модель выбора проекта информационной системы организации.

4 Оценка проекта.

4.1 Затраты на выполнение первого этапа.

4.2 Затраты на выполнение второго этапа.

4.3 Показатели эффективности проекта.

5 Диаграмма классов.

6 Описание структур данных.

7 Описание структуры программного комплекса.

8 Базовый вариант информационной системы организации.

9 Проектный вариант информационной системы организации.

10 Оптимальное решение математической модели информационной системы.

Заключение.

Список использованных первоисточников.

3.3.7.2 Варианты заданий

Варианты заданий приведены в таблице 3.33.

Таблица 3.33 – Варианты заданий

Район	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Альменевский	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+
Белозерский	-	+	+	+	-	-	+	-	+	-
Варгашинский	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+
Далматовский	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-
Звериноголовский	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+

Продолжение таблицы 3.33

Каргапольский	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-
Катайский	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+
Кетовский	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Куртамышский	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+
Лебяжьеvский	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
Макушинский	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+
Мишкинский	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+
Мокроусовский	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+
Петуховский	-	-	-	+	-	-	+	-	+	+
Половинский	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+
Притобольный	+	+	+	-	-	-	+	-	-	+
Сафакулевский	+	+	+	-	-	+	+	+	-	+
Целинный	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+
Частоозерский	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Шадринский	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+
Шатровский	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
Шумихинский	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
Щучанский	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-
Юргамышский	+	-	-	+	-	+	-	+	+-	+
Курган	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+

+ Наличие филиала компании в районном центре Курганской области, г. Кургане.

- Отсутствие филиала компании в районном центре Курганской области, г. Кургане.

Количество компьютеров в филиалах от 3 до 10 штук. В главном офисе компании в г. Кургане – от 8 до 15 штук.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований и мероприятий по совершенствованию информационной системы ТФ ОМС Курганской области была разработана корпоративная сеть, отвечающая перечню требований, предъявляемых к информационной системе.

1 Функциональная полнота информационной системы:

- выполнение международных стандартов;
- автоматизация системы решения задач.

2 Локализация информационной системы:

- функциональная;
- лингвистическая.

3 Надежная защита информации в информационной системе:

- парольная система разграничения доступа к данным и функциям;
- многоуровневая система защиты данных, включающая средства авторизации вводимой и корректируемой информации, регистрация времени ввода и модификации данных, протокол удалений;
- программноаппаратные средства шифровки данных, сертифицированные ФАПСИ.

4 Реализация удаленного доступа и работа в распределенных сетях.

5 Наличие инструментальных средств адаптации и сопровождения информационной системы:

- изменение структуры процессов;
- изменение информационного пространства (модификация полей, таблиц, связей, индексов и т. д.);
- изменение интерфейсов ввода, просмотра и корректировки информации;
- изменение организационного и функционального наполнения рабочего места пользователя.

6 Обеспечение обмена данными между информационными системами и программными продуктами.

Совершенствование информационной системы ТФ ОМС Курганской области позволило следующее.

1 Исключить промежуточные звенья внутри ТФ ОМС и с другими организациями. При этом уменьшились затраты, появились простые иерархические связи и более широкие системы контроля. Например, отпала необходимость привозить из филиалов ТФ ОМС, СМО и ЛПУ базы данных налогоплательщиков, застрахованных и пролеченных больных.

2 Увеличить объемы и сократить сроки переработки информации. Это повысило производительность труда и привлекательность рабочих мест. Существенно сократилось менее продуктивно затрачиваемое время,

которое является источником самой большой неудовлетворенности интеллектуальных работников.

3 Улучшить показатели деятельности ТФ ОМС, качество лечения больных в ЛПУ за счет доступа к новым технологиям и методам лечения, например, использование консультаций со специалистами городов Москвы и Санкт-Петербурга, специалистами зарубежных медицинских клиник, применение телемедицины посредством видеоконференций.

4 Осуществить децентрализацию принятия решений и централизацию контроля и власти.

5 Создать новые рабочие места для обслуживания современной вычислительной техники и системы информационного спутникового Интернет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. – М. : Высш. шк. 2001. – 343 с.
- 2 Таха Хемди А. Введение в исследование операций. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.
- 3 Кузнецов А. В., Холод Н. И. Математическое программирование. – Минск : Выш. шк., 1984. – 221 с.
- 4 Мастяева И. Н., Горбовцов Г. Я., Семенихина О. Н. Исследование операций в экономике : учебное пособие. Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. – М. : МЭСИ, 2003. – 119 с.
- 5 Семахин А. М. Метод Гаусса-Жордана в моделировании информационной системы // Естественные и технические науки. – 2014. – №5(73). – С. 153-163.
- 6 Семахин А. М. Метод обыкновенное Жорданово исключение в моделировании информационных систем // Наукоеведение. – 2015. – №5(7). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/169TVN515.pdf>.
- 7 Семахин А. М. Метод Гомори в решении целочисленной задачи оптимизации информационной системы. Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2012) : сб. материалов XI Всероссийской научн.-прак. конференции с международным участием. Часть 1. – Кемерово : Изд-во ООО «Практика», 2012. – С. 97-101.
- 8 Семахин А. М. Оптимальное решение целочисленной модели информационной системы методом ветвей и границ. Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2012) : сб. материалов XI Всероссийской научн.-прак. конференции с международным участием. Часть 1. – Кемерово : Изд-во ООО «Практика», 2012. – С. 92-96.
- 9 Семахин А. М. Проектирование корпоративной информационной системы организации: учебное пособие. – Шадринск : Изд-во ОГУП «Шадринский Дом Печати», 2006. – 56 с.
- 10 Ковалев В. В. Методы оценивания инвестиционных проектов. – М. : Финансы и статистика, 2000. – 144 с.
- 11 Семахин А. М., Мамонтов Р. И. Программный комплекс выбора распределенной вычислительной сети // Молодой ученый. – 2014. – №8(67). – С. 102-107.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Данные о провайдерах спутникового Интернет

Таблица А.1 – Характеристики провайдеров спутникового Интернет

Провайдер	Страна	Стандарт передачи данных	Диапазон частоты, ГГц	Поляризация	Скорость передачи данных, Мбит/с	Ошибка (FEC)	Уровень сигнала, дБВт	Уровень надежности	Абонентская плата	Стоимость оборудования, тыс. \$	Стоимость установочных и пусковых работ, \$
Network Service	Россия	Цифровой	11,645	Круговая	1,45	0,83	40	Средний	Часовая	2,85	685
Омиком	Россия	Цифровой	11,245	Линейная	0,565	0,75	38	Средний	Месячная	2,55	560

Продолжение таблицы А.1

Sat-Pro	Россия	Цифровой	11,285	Круговая	1	0,75	40	Средний	Месячная	685	245
Helios Net	Россия	Аналоговый	3,796	Круговая	2	0,83	39	Низкий	Месячная	1,4	345
Euro-Online Net-works	Люксембург	Цифровой	12,460	Линейная	22	0,83	37	Высокий	Месячная	0,565	295
Astra Net-works	Бельгия	Цифровой	12,604	Линейная	22	0,83	35	Высокий	Месячная	0,895	550
Lucky Net	Украина	Цифровой	11,45	Круговая	1,15	0,83	29	Низкий	Часовая	1150	560
Space Gate	Украина	Цифровой	11,875	Круговая	1,35	0,83	30	Низкий	Часовая	1450	800
Адамант	Украина	Цифровой	11,455	Круговая	3,5	0,75	32	Низкий	Часовая	1500	845
Nordic Satellite	Швеция	Цифровой	11,825	Круговая	1,5	0,875	30	Высокий	Объемная	895	565
НТВ-Плюс	Россия	Цифровой	12,303	Круговая	1	0,75	50	Средний	Месячная	0,275	45

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Формализованные данные по провайдерам спутникового Интернет

Таблица Б.1 – Формализованные характеристики провайдеров спутникового Интернет

Провайдер	Страна	Стандарт передачи данных	Диапазон частоты, ГГц	Поляризация	Скорость передачи данных, Мбит/с	Ошибка (FEC)	Уровень сигнала, дБВт	Уровень надежности	Абонентская плата	Стоимость оборудования, тыс. \$	Стоимость новых и пуско-наладочных работ, \$
Network Service	Россия	5	8	5	4	1	6	4	3	4	2
Омиком	Россия	5	8	1	2	2	6	4	5	4	2
SatRro	Россия	5	8	5	2	2	6	4	5	6	4

Продолжение таблицы Б.1

Helios Net	Россия	1	3	5	4	1	6	2	5	4	4
Europe Online Net-works	Люксембург	5	8	1	8	1	6	6	5	6	4
Astra Net-works	Бельгия	5	8	1	8	1	3	6	5	6	2
Lucky Net	Украина	5	8	5	4	1	1	2	3	4	2
Space Gate	Украина	5	8	5	4	1	1	2	3	4	2
Адамант	Украина	5	8	5	4	2	3	2	3	4	2
Nordic Sat-telite	Швеция	5	8	5	4	1	1	6	1	6	2
НТВ-Плюс	Россия	5	8	5	2	2	9	4	5	8	10

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Схема вычислительной сети Территориального Фонда обязательного медицинского страхования Курганской области

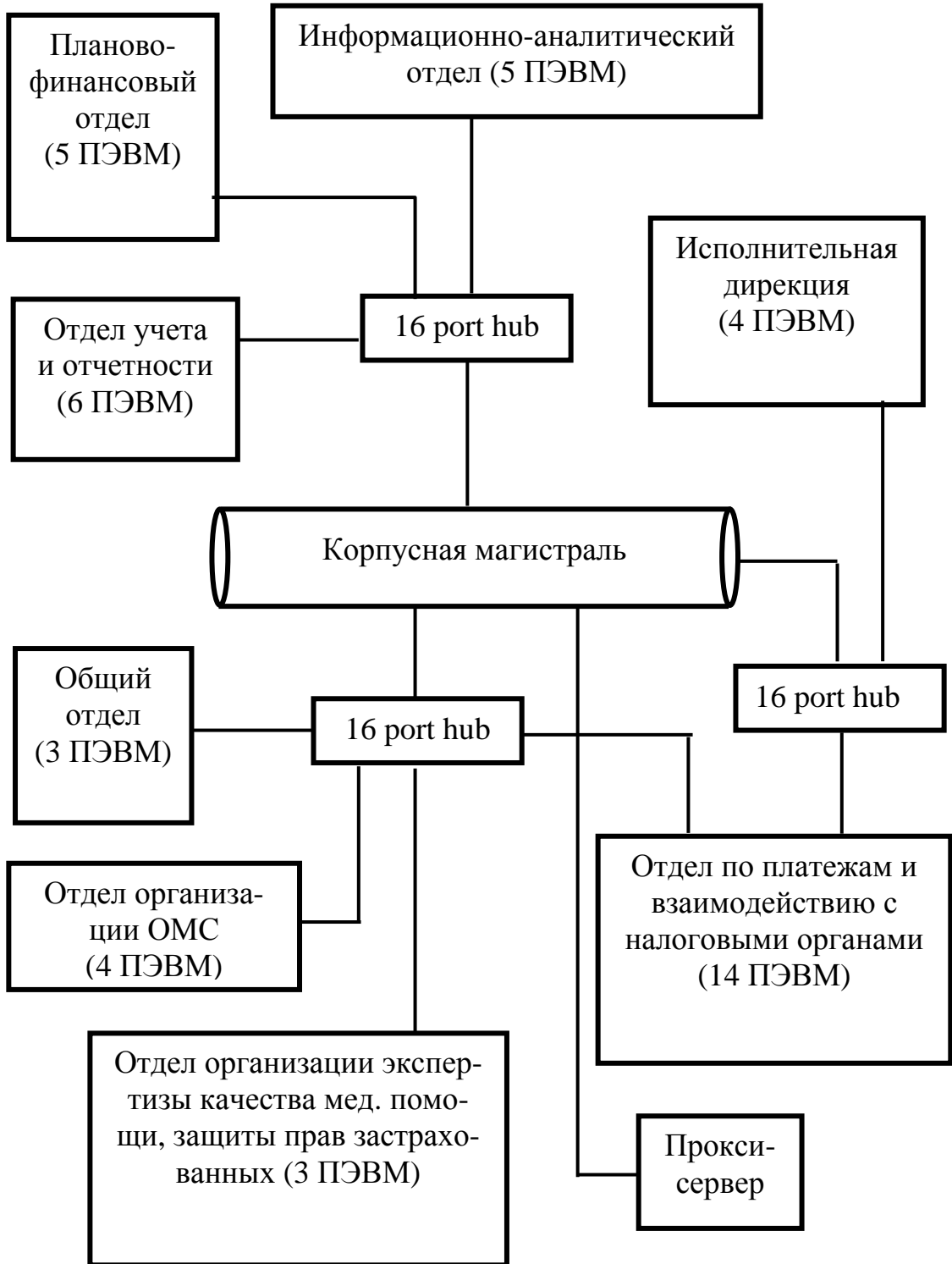


Рисунок В.1 – Схема вычислительной сети ТФ ОМС Курганской области

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Наличие персональных компьютеров и принтеров в отделах ТФ ОМС Курганской области

Таблица Г.1 – Вычислительная техника отделов ТФ ОМС
Курганской области

Наименование отдела	Персональные компьютеры с микропроцессором			
	Pentium III 650	Pentium 120	Celeron 400	Intell 486 Ap- tiva
Информационно- аналитический	5			
Планово- финансовый	2		3	
Учета и отчетно- сти	1		5	
Отдел организации ОМС	2	1	1	
Отдел организации экспертизы каче- ства	2			1
Отдел по плате- жам и взаимодей- ствию с налоговы- ми органами	3		2	9
Общий отдел		2		1
Администрация	2		2	
Итого:	17	3	13	11

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Схема базовой корпоративной сети ТФ ОМС Курганской области

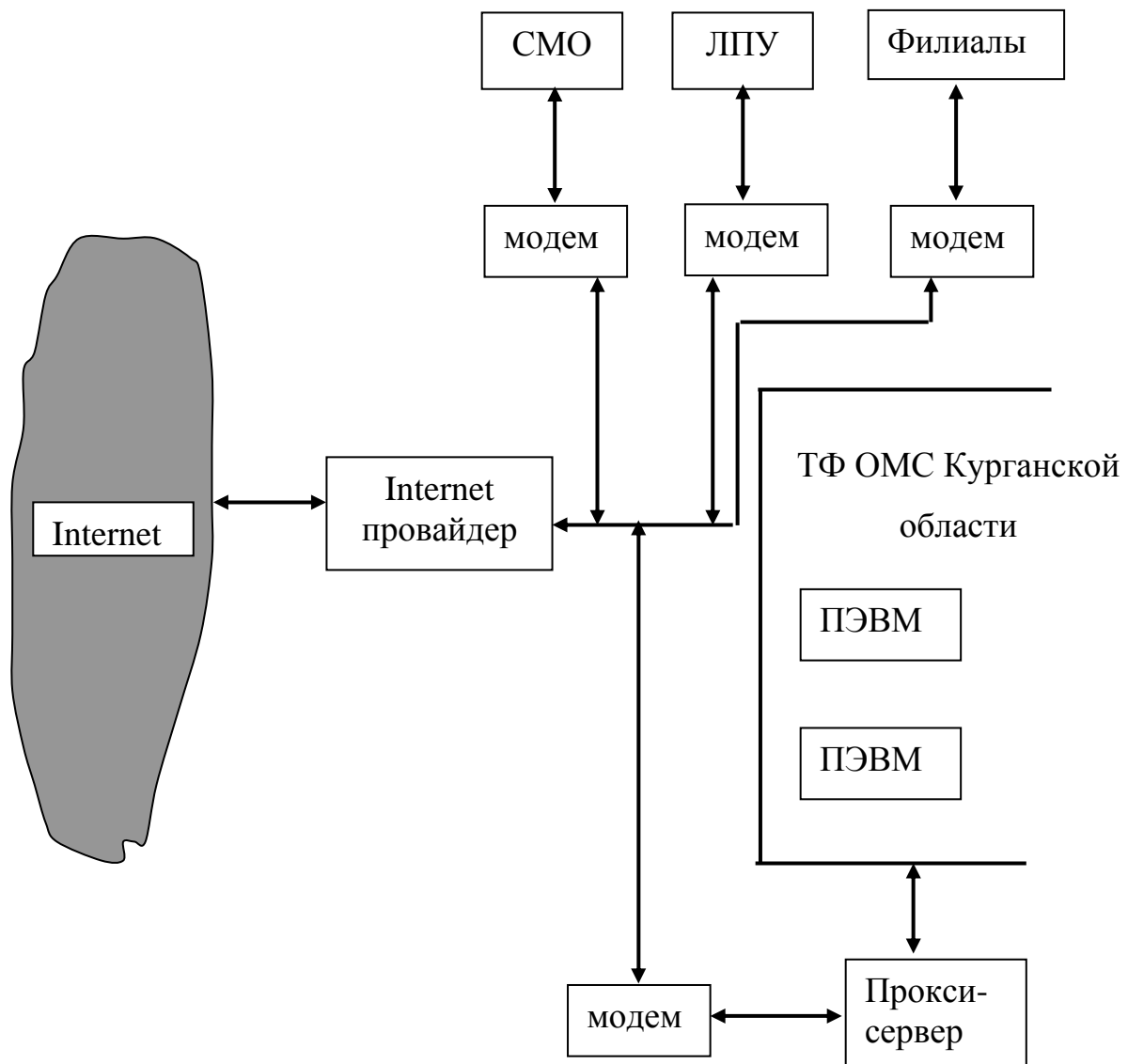


Рисунок Д.1 – Базовый вариант сети

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Схема проектной корпоративной сети ТФ ОМС Курганской области

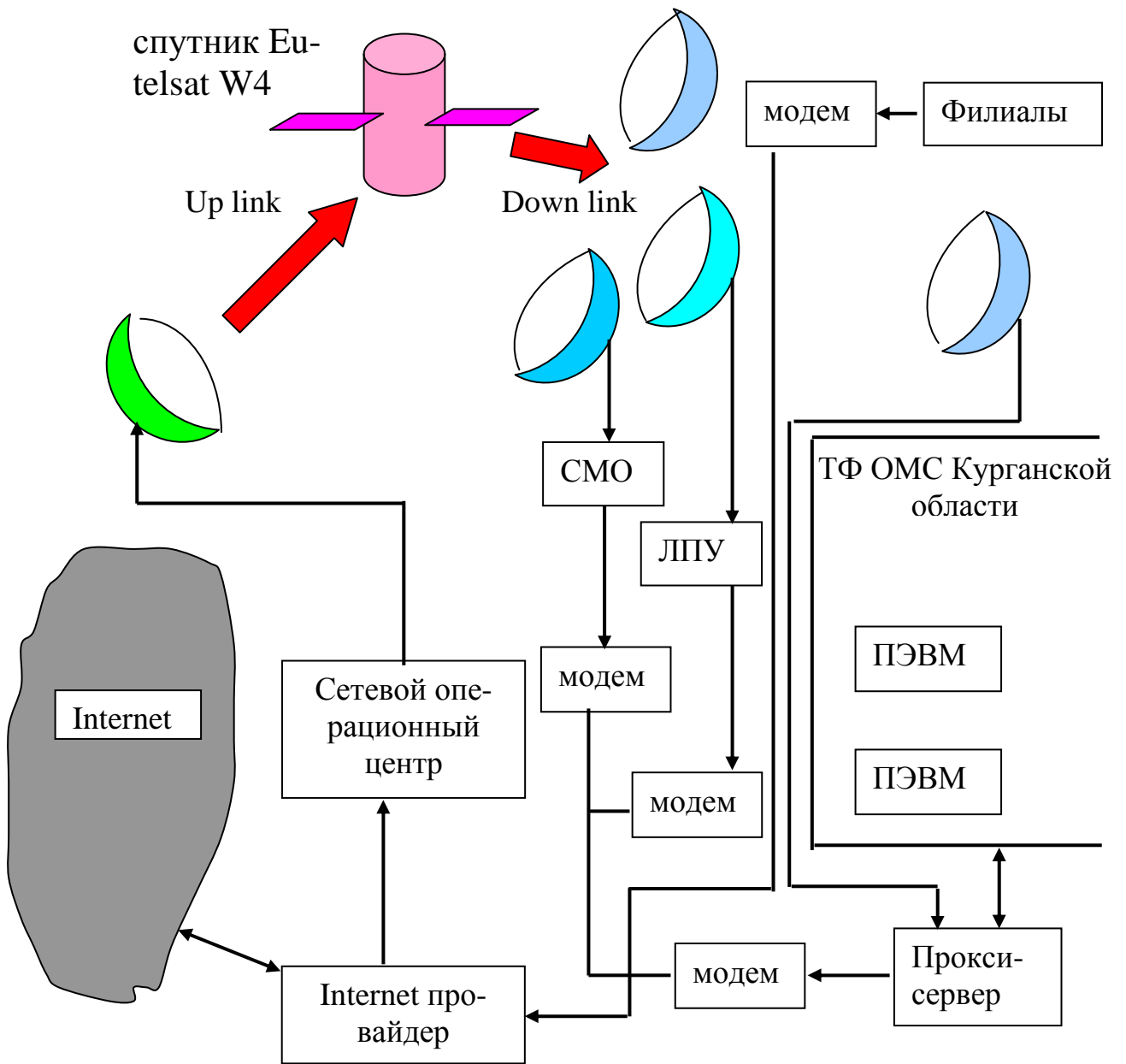


Рисунок Е.1 – Проектный вариант сети

Учебное издание

Семахин Андрей Михайлович

ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ
В МОДЕЛИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Редактор Г.В. Меньщикова

Подписано в печать 11.10.16	Формат 60x84 1/16	Бумага 80 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 4,25	Уч.-изд. л. 4,25
Заказ № 161	Тираж 25	

БИК Курганского государственного университета.
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.