Тут должен быть титульник

Магистерская диссертация

Тема: Разработка продукта, позволяющего реализовать процессный подход в системах менеджмента качества

Ключевые слова: ПАРЕТО, СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА, КРИТЕРИЙ КАЛМОГОРОВА–СМИРНОВА.

Цель работы – разработать продукт, позволяющий реализовать процессный подход в системах менеджмента качества.

В процессе работы проанализированы существующие системы менеджмента качества.

В результате работы был разработан программный модуль, позволяющий используя распределение Парето реализовать процессный подход.

Программная реализация выполнена в среде программирования MatLab.

Повышение качества работы систем менеджмента качества, гарантируют окупаемость и востребованность данной программы.

# Содержание

1. Анализ практики внедрения концепции процессного проектирования при разработке систем менеджмента качества....4

1.1 Анализ принципов построения систем менеджмента качества....4

1.2 Анализ программ, реализующих процессный подход....7

1.3 Описания методик моделирования....8

1.4 Распределение Парето....11

1.5 Параметрическая идентификация процессов....12

**2. Постановка задачи декомпозиции функции распределения Парето простейшими потоками....21**

**3. Решение математической задачи и проектирование программы....23**

3.1 Выбор метода решения математической задачи....23

3.2 Решение задачи при композитном критерии оптимальности....28

3.4 Разработка программного модуля....34

**4. Оценка экономической эффективности проекта....40**

5.1 Планирование разработки системы тестирования с построением сетевого графика выполнения работ....40

5.2 Расчет затрат на разработку....58

**Заключение.... 64**

Список использованных источников....65

# 1. Анализ практики внедрения концепции процессного проектирования при разработке систем менеджмента качества

## 1.1 Анализ принципов построения систем менеджмента качества

Стоит начать с утверждения, что любая организация имеет систему менеджмента, представляющую собой совокупность организационной структуры, полномочий и ответственности, существующих в ее рамках, процессов деятельности, трудовых, материальных и финансовых ресурсов и т.д. Все эти составляющие объединены и взаимодействуют между собой для достижения целей организации. Таким образом, система менеджмента является средством достижения целей, сформулированных руководством компании. Однако не любая система является эффективной, способной оправдать ожидания заинтересованных сторон. Эффективная система позволяет добиться достижения поставленных целей при оптимальных затратах и в заданные временные интервалы. Такая система подразумевает, как правило, строго упорядоченную, регламентированную в оптимальном объеме деятельность, которая должна быть понятной как для менеджеров, так и для рядовых сотрудников.

Система менеджмента качества (СМК) – совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для общего руководства качеством. Она предназначена для постоянного улучшения деятельности, для повышения конкурентоспособности организации на отечественном и мировом рынках, определяет конкурентоспособность любой организации. Она является частью системы менеджмента организации.

Качество – емкая сложная и универсальная категория, имеющая множество особенностей и различных аспектов. В зависимости от цели

использования и рассмотрения качества, к её основным аспектам можно отнести:

- философский;

- социальный;

- технический;

- экономический;

- правовой.

Современные СМК базируются на принципах TQM. Различные части системы менеджмента организации могут быть интегрированы вместе с системой менеджмента качества в единую систему менеджмента, использующую общие элементы. Это повышает результативность планирования, эффективность использования ресурсов, создает синергетический эффект в достижении общих бизнес-целей организации.

Широко применяется сертификация СМК по ИСО 9001. Сертификация СМК основана на проведении независимых аудитов третьей стороной (органом по сертификации).

Для создания системы менеджмента качества по ИСО 9001 необходимо стратегическое решение организации. На разработку и внедрение системы менеджмента качества организации влияют:

- ее внешняя среда, изменения или риски, связанные с этой средой;

- изменяющиеся потребности;

- конкретные цели;

- выпускаемая продукция;

- применяемые процессы;

- размер и структура организации.

Настоящий стандарт не предполагает единообразия в структуре систем менеджмента качества или их документации.

Требования к системе менеджмента качества, установленные настоящим стандартом, являются дополняющими по отношению к требованиям к продукции. Информация, обозначенная как «Примечание», носит характер методических указаний для понимания или разъяснения соответствующего требования.

Настоящий стандарт может использоваться внутренними и внешними сторонами, включая органы по сертификации, в целях оценки способности организации выполнять требования потребителей, требования к продукции, являющиеся обязательными к исполнению в соответствии с действующим законодательством (далее – обязательные требования), и собственные требования.

При разработке настоящего стандарта были учтены принципы менеджмента качества, установленные ИСО 9000:2005 и ИСО 9004:2000.

Настоящий стандарт направлен на применение «процессного подхода» при разработке, внедрении и улучшении результативности системы менеджмента качества в целях повышения удовлетворенности потребителей путем выполнения их требований.

Для успешного функционирования организация должна определить и осуществлять менеджмент многочисленных взаимосвязанных видов деятельности. Деятельность, использующая ресурсы и управляемая в целях преобразования входов в выходы, может рассматриваться как процесс. Часто выход одного процесса образует непосредственно вход следующего.

Применение в организации системы процессов наряду с их идентификацией и взаимодействием, а также менеджмент процессов, направленный на получение желаемого результата, могут быть определены как «процессный подход».

Преимущество процессного подхода состоит в непрерывности управления, которое он обеспечивает на стыке отдельных процессов в рамках их системы, а также при их комбинации и взаимодействии.

При применении в системе менеджмента качества такой подход подчеркивает важность:

- понимания и выполнения требований;

- необходимости рассмотрения процессов с точки зрения добавляемой ими ценности;

- достижения запланированных результатов выполнения процессов и обеспечения их результативности;

- постоянного улучшения процессов, основанного на объективном измерении.

## 1.2 Анализ программ, реализующих процессный подход

1.2.1 Наиболее известным программным продуктом, который позиционируется как оболочка для синтеза СМК на основе процессного подхода является разработка группы компаний «Современные технологии управления» с названием «Business studio 3». Которая позволяет производить:

- имитационное моделирование;

- функционально-стоимостной анализ.

1.2.2 Имитационное моделирование – метод исследования, основанный на том, что изучаемая система заменяется имитирующей. С имитирующей системой проводят эксперименты (не прибегая к экспериментам на реальном объекте) и в результате получают информацию об изучаемой системе. Метод позволяет имитировать выполнение модели бизнес-процессов так, как оно происходило бы в действительности. В результате, можно оценить время выполнения как одного процесса, так и заданного их множества и среднюю частоту повторений подпроцессов в рамках процесса.

1.2.3 Функционально-стоимостной анализ используется для операционно-ориентированного расчета себестоимости продукта (услуги). В

основе ФСА лежит положение о том, что для производства продукта (услуги) необходимо выполнить ряд действий, каждое из которых требует определенных ресурсов. Расходы на выполнение каждого действия рассчитываются путем переноса стоимости ресурсов на стоимость действия. Сумма расходов на выполнение каждого действия, с определенными поправками, и будет составлять себестоимость продукта (услуги).

1.2.4 В Business Studio имитационное моделирование и функционально-стоимостной анализ используются параллельно для расчета времени выполнения и стоимости процессов. Функционально-стоимостной анализ позволяет рассчитать себестоимость продукции (услуги) через перенос затрат на стоимость выполняемых процессов пропорционально драйверам ресурсов. За драйвер временных ресурсов принимается время, затрачиваемое ресурсом на выполнение того или иного процесса (действия, функции). За драйвер материальных ресурсов принимается количество повторений процесса. Время выполнения и количество повторений процесса определяется посредством имитационного моделирования.

## 1.3 Описания методик моделирования

1.3.1 Описание методики имитационного моделирования

Анализ деятельности компании с помощью методики имитационного моделирования осуществляется в 3 этапа:

1. Разрабатывается модель бизнес-процессов компании либо диаграмма отдельного исследуемого бизнес-процесса.

2. Для недекомпозированных процессов, входящих в исследуемые бизнес-процессы, заполняются параметры: «Время выполнения процесса», «Время ожидания процесса», а для составляющих процесса в нотации IDEF0 заполняется также параметр «Частота в рамках вышележащего процесса».

3. Проводится имитация для всей модели бизнес-процессов либо для одного исследуемого процесса и в результате определяется время, которое затрачивается на выполнение процессов.

При имитации бизнес-процесса в нотации IDEF0 для определения времени выполнения процесса система суммирует продолжительности подпроцессов с учетом частоты их повторений в рамках бизнес-процесса.

Ход выполнения процессов в нотациях Процедура, Процесс, EPC в общем случае носит вероятностный характер, поэтому продолжительность процесса в общем случае является случайной величиной.

1.3.2 Описание методики ФСА

Стоимость процесса определяется в результате проведения функционально-стоимостного анализа в 5 этапов:

1. Разрабатывается модель бизнес-процессов компании либо диаграмма отдельного исследуемого бизнес-процесса.

2. Для недекомпозированных процессов, входящих в исследуемые бизнес-процессы, заполняются параметры «Время выполнения процесса», «Время ожидания процесса». Для подпроцессов процесса нотации IDEF0 заполняется также параметр «Частота в рамках вышележащего процесса».

3. Заполняются стоимостные параметры тех ресурсов, которые будут использованы при выполнении процессов. Ресурсы могут быть временными (стоимость использования зависит от времени выполнения процесса) и материальными (стоимость зависит от количества повторений процесса).

4. На каждый бизнес-процесс назначаются временные и материальные ресурсы, используемые при его выполнении.

5. Проводится имитация для всей модели бизнес-процессов либо для одного исследуемого процесса и в результате определяется стоимость процессов. Для процесса в нотации IDEF0 в общей стоимости процесса учитывается стоимость каждого подпроцесса, умноженная на частоту его выполнения в рамках процесса. Для процесса в нотациях Процедура,

Процесс, EPC стоимость процесса определяется как сумма стоимостей всех выполненных действий/функций.

Стоимость ресурсов переносится на стоимость процесса пропорционально драйверам ресурсов. За драйвер временных ресурсов принимается время выполнения процесса. За драйвер материальных ресурсов принимается количество повторений процесса.

Стоимость временных ресурсов переносится на стоимость процесса путем умножения времени выполнения процесса на стоимость единицы используемого временного ресурса, например, на стоимость часа работы сотрудника.

Но как видно из рисунка 1.1 вероятность происхождения того или иного процесса является постоянной величиной что в корне не верное.

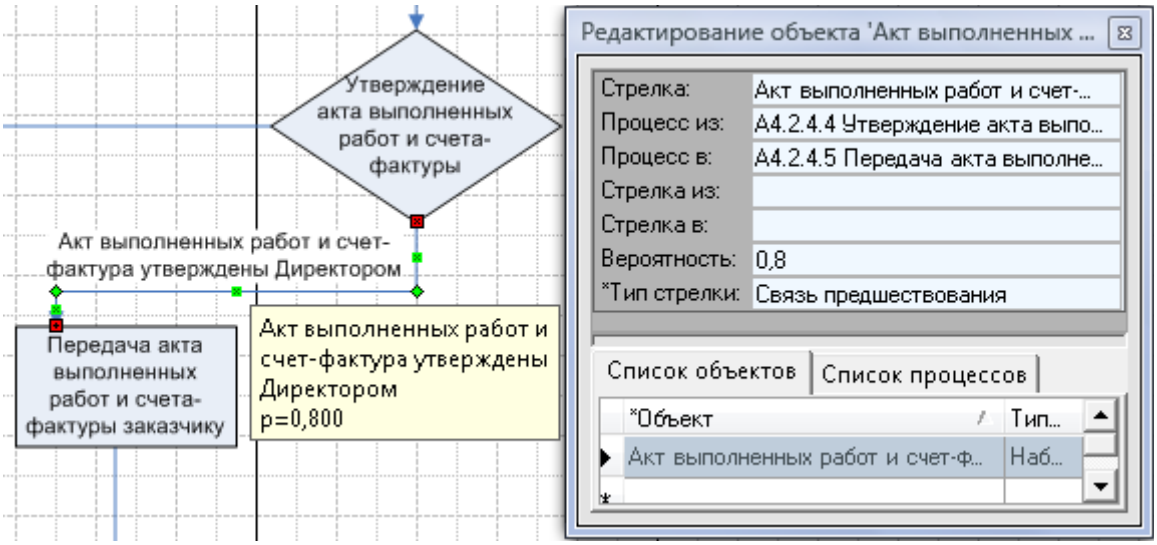



Рисунок 1.1 – Вероятность наступления события

Известно, что вероятность с течением времени не является постоянной величиной поэтому данный программный продукт не реализует концепции процессного подхода, а является только лишь грубой имитацией. Из рисунка 1.2 видно, как изменяется частота наступления одного и того же события с течением времени.

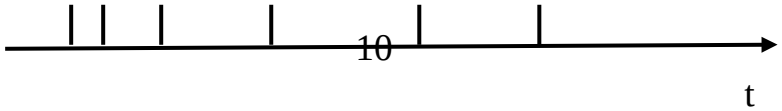


Рисунок 1.2 – Вероятность наступления события

Наиболее удачно характеризовать данный процесс можно с помощью распределения Парето.

### 1.4 Распределение Парето

В различных задачах прикладной статистики довольно часто встречаются так называемые усеченные распределения.

Например, это распределение используется в страховании или в налогообложении, когда интерес представляют доходы, которые превосходят некоторую величину с0

$$F_{\xi}(x) = P(\xi < x) = 1 - \frac{c_0}{x} \quad (1.1)$$

$$f_{\xi}(x) = \left(\frac{\alpha}{c_0}\right)\left(\frac{c_0}{x}\right)^{\alpha+1} \quad (1.2)$$

Основные числовые характеристики распределения Парето:

Среднее: $E = \frac{\alpha}{\alpha - 1} c_0 __(существует_при_1 < \alpha)$

Мода: $x_{\text{mod}} = c_0$

Медиана: $x_{med} = 2^{\left(\frac{1}{\alpha}\right)} c_0$

Дисперсия: $D\xi = \frac{\alpha}{(\alpha - 1)^2 (\alpha - 2)} c_0^2 __(существует_при_2 < \alpha)$

Момент k-го порядка: $E\xi^k = \frac{\alpha}{\alpha - k} c_0^k __(существует_при_k < \alpha)$

### 1.5 Параметрическая идентификация процессов

Что бы применит для данной задачи необходимо параметрически идентифицировать наиболее важные процессы.

Рассмотрим стационарный объект, описываемый уравнениями (1.3), с неизвестными параметрами. Для построения регулятора необходимо определить (идентифицировать) его параметры. Здесь можно различить два случая: во-первых, когда внешние возмущения и помехи измеряются либо известны, во-вторых, когда о них известны лишь границы области их возможных значений либо статистические характеристики (закон распределения и его параметры).

В первом случае для простоты будем полагать, что внешние возмущения и помехи отсутствуют. Тогда движения объекта

$$\dot{x} = Ax + bu; \quad y = dx; \quad x(t_0) = x^{(0)}; \tag{1.3}$$

возбуждаются известным (измеряемым) входным сигналом. Анализируя сигнал, на выходе можно определить параметры объекта. Уточним, какие параметры при этом определяются. Дело в том, что решение задачи — определение матрицы A и векторов b и d по сигналам входа выхода не единственно. Действительно, рассмотрим наряду с (27) систему уравнений

$$\tilde{\tilde{x}} = M^{-1}AM\,\tilde{\tilde{x}} + M^{-1}b\tilde{\tilde{u}}; \; \tilde{\tilde{y}} = dM\,\tilde{\tilde{x}}; \; \tilde{\tilde{x}}(t_0) = Mx^{(0)}; \tag{1.4}$$

где M — произвольная, неособая матрица.

Если входное воздействие, то выходные сигналы обеих систем совпадают хотя параметры матриц в них различны. В совпадении выходных сигналов нетрудно убедиться, преобразуя (1.3) по Лапласу и вычисляя

$$\tilde{y}(s) = dM(Es - M^{-1}AM)^{-1}M^{-1}b\tilde{u} + dM(Es - M^{-1}AM)^{-1}M^{-1}x^{(0)} =$$
$$= d(Es - A)^{-1}b\tilde{u} + d(Es + A)^{-1}x^{(0)} = y(s) __ npu __ \tilde{u}(s) = u(s).$$

В связи с этим возникает вопрос: а существует ли набор параметров, который единственным образом определяется на основе сигналов «вход — выход»?

Таким набором параметров для полностью управляемых и полностью наблюдаемых объектов являются параметры объекта. Поэтому далее под идентификацией параметров объекта будем подразумевать определение его параметров в форме «вход — выход».

Описаны два метода идентификации параметров объекта: частотный метод и метод настраиваемой модели. Задача идентификации усложнена влиянием неконтролируемых случайных внешних воздействий и помех. Приводятся метод наименьших квадратов и метод стохастической аппроксимации.

Если обобщить алгоритмы, то процесс идентификации (оценивания) можно описать разностным уравнением

$$\hat{\alpha}[(k+1)T] = \gamma(\hat{\alpha}(kT), y(kT),..., y((k - \mu_1)T), u(kT),..., u((k - \mu_2)T) \quad (k = 0,1,2,...), \tag{1.5}$$

Где у — оценка вектора параметров в момент времени известная вектор-функция, которая зависит от метода идентификации.

Естественно, что решения уравнения (1.5) должны обладать свойством,

$$\lim_{k \to \infty} \hat{\alpha}(kT) = \alpha^*$$

которое выражает сходимость процесса идентификации к истинным значениям параметров объекта.

Термин «идентификация» здесь и далее используется в узком смысле как определение параметров математической модели (1.5) объекта, структура которой (линейный характер дифференциального уравнения (1.5), его стационарность, размерность вектора переменных состояния известна.

В широком смысле идентификация включает в себя определение по входу и выходу объекта структуры его математической модели, определение ее параметров и оценивание (восстановление) вектора его переменных состояния.

Структура модели определяется физическими законами, которые определяют движение объекта (законы Кирхгофа, Максвелла, законы сохранения массы, энергии и импульса, законы распределения количества теплоты и энтропии). Из этих законов следуют нелинейные дифференциальные уравнения в частных производных, которые линеаризуются, а затем упрощаются (редуцируются) до обыкновенных дифференциальных уравнений, определяющих структуру модели.

Эти сведения образуют априорную информацию об объекте. Параметры объекта определяются в результате измерений входа и выхода объекта. Измерения и последующее вычисление параметров составляют апостериорную информацию. Схема идентификации (в широком смысле) приведена на рисунке 1.3.

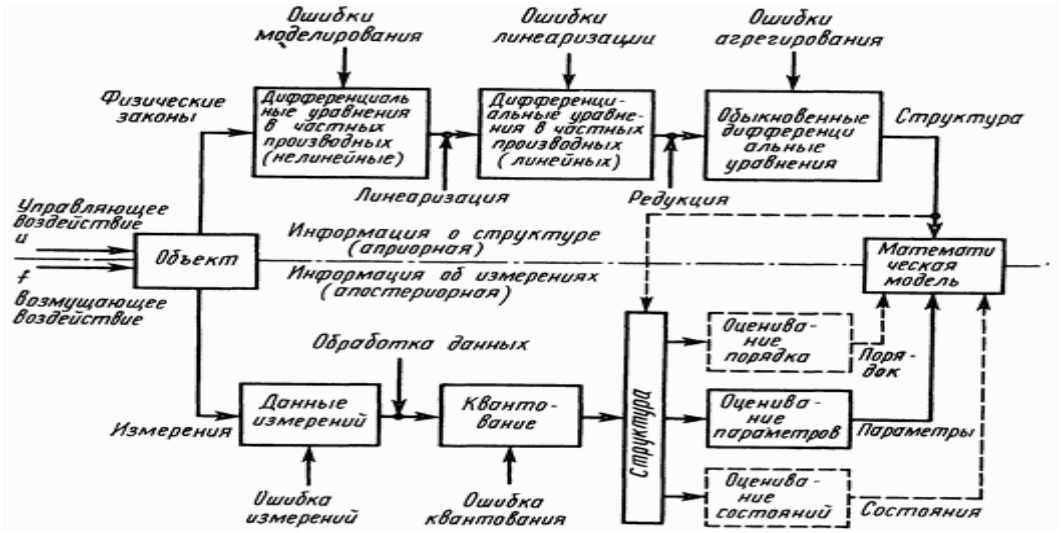


Рисунок 1.3 – Схема идентификации (в широком смысле)

Рассмотрим реализацию выборки на одном элементарном исходе $\omega_0$ — набор чисел $x_1 = x_1(\omega_0), \ldots, x_n = x_n(\omega_0)$. На подходящем вероятностном пространстве введем случайную величину $\xi^*$, принимающую значения $x_1, \ldots, x_n$ с вероятностями по $1/n$ (если какие-то из значений совпали, сложим вероятности соответствующее число раз).

$$F(y) = \sum_{x_i < y} \frac{1}{n} = \frac{количество_x_i \in (-\infty, y)}{n} \tag{1.6}$$

Распределение величины $\xi^*$ называют эмпирическим или выборочным распределением. Вычислим математическое ожидание и дисперсию величины $\xi^*$ и введем обозначения для этих величин:

$$E\xi^* = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{n} x_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i = \bar{x}, \tag{1.7}$$

$$D\xi^* = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{n} (x_i - E\xi^*)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 = S^2. \tag{1.8}$$

Точно так же вычислим и момент порядка k

$$E(\xi^*)^k = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{n} x_i^k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i^k = \overline{x^k} \tag{1.9}$$

В общем случае обозначим через $\overline{g(X)}$ величину

$$Eg(\xi^*) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} g(X_i) = \overline{g(X)}. \tag{1.10}$$

Если при построении всех введенных нами характеристик считать выборку $x_1, \ldots, x_n$ набором случайных величин, то и сами эти характеристики — $F_n^*(y), \overline{X}, S^2, \overline{x^k}, \overline{g(X)}$ — станут величинами случайными. Эти характеристики выборочного распределения используют для оценки (приближения) соответствующих неизвестных характеристик истинного распределения.

Причина использования характеристик распределения $\xi^*$ для оценки характеристик истинного распределения $\xi$ (или $x_1$) — в близости этих распределений при больших n.

Рассмотрим, для примера, n подбрасываний правильного кубика. Пусть $x_1 \in \{1.....6\}$ — количество очков, выпавших при i-м броске, i=1….n. Предположим, что единица в выборке встретится n1 раз, двойка — n2 раз и т.д. Тогда случайная величина $\xi^*$ будет принимать значения 1, . . . , 6 с вероятностями $\frac{n_1}{n}$, . . . , $\frac{n_6}{n}$ соответственно. Но эти пропорции с ростом n приближаются к 1/6 согласно закону больших чисел. То есть распределение величины $\xi^*$ в некотором смысле сближается с истинным распределением числа очков, выпадающих при подбрасывании правильного кубика.

Мы не станем уточнять, что имеется в виду под близостью выборочного и истинного распределений. В следующих параграфах мы подробнее познакомимся с каждой из введенных выше характеристик и исследуем ее свойства, в том числе ее поведение с ростом объема выборки.

Поскольку неизвестное распределение f можно описать, например, его функцией распределения $f(y) = P(x_1 < y),$ построим по выборке «оценку» для этой функции.

Определение 1.

Эмпирической функцией распределения, построенной по выборке $x = \{x_1 ..... x_n\}$ объема n, называется случайная функция $F_n^* : R \times \Omega \to [0,1]$, при каждом $y \in R$ равная

$$F_n^*(y) = \frac{количество_x_i \in (-\infty, y)}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} I(x_i < y). \quad (1.11)$$

$$I(x_i < y) = \begin{cases} 1, если_x_i < y, \\ 0, иначе. \end{cases} \quad (1.12)$$

называется индикатором события xi<y. При каждом y это — случайная величина, имеющая распределение Бернулли с параметром p=P(xi<y)=F(y).. почему?

Иначе говоря, при любому значение F(y), равное истинной вероятности случайной величине xi быть меньше y, оценивается долей элементов выборки, меньших y.

Если элементы выборки xi,...,xn упорядочить по возрастанию (на каждом элементарном исходе), получится новый набор случайных величин, называемый вариационным рядом:

$$x_1 \le x_2 \le ... \le x_{n-1} \le x_n$$

Здесь

$$x_1 = \min(x_1,...,x_n),\ x_n = \max(x_1,...,x_n).$$

Элемент $x_k, k = 1,...,n,$ называется k-м членом вариационного ряда или k-й порядковой статистикой.

Пример 1.

Выборка: $x = (0;2;1;2,6;3,1;4,6;1;4,6;6;2,6;6;7;9;9;2,6)$

Вариационный ряд: $(0;2;1;2,6;3,1;4,6;1;4,6;6;2,6;6;7;9;9;2,6)$

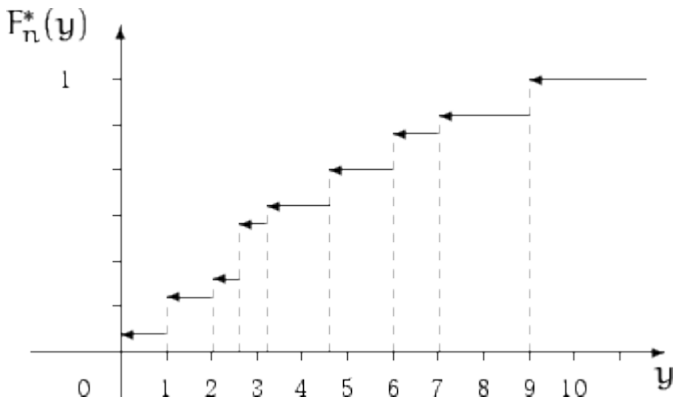



Рисунок 11 – Гистограмма вариационного ряда

Эмпирическая функция распределения имеет скачки в точках выборки, величина скачка в точке $x_i$ равна $m/n$, где m— количество элементов выборки, совпадающих с $x_i$.

Можно построить эмпирическую функцию распределения по вариационному ряду:

$$F_n^*(y) = \begin{cases} 0, \text{если } y \le x_1 \\ \frac{k}{n}, \text{если } x_k < y \le x_{k+1} \\ 1, \text{при } y > x_n \end{cases} \qquad (1.13)$$

Другой характеристикой распределения является таблица (для дискретных распределений) или плотность (для абсолютно непрерывных). Эмпирическим, или выборочным аналогом таблицы или плотности является так называемая гистограмма.

Гистограмма строится по группированным данным. Предполагаемую область значений случайной величины ξ (или область выборочных данных) делят независимо от выборки на некоторое количество интервалов (не обязательно одинаковых). Пусть A1, …, Ak— интервалы на прямой, называемые интервалами группировки. Обозначим для j=1,…,k через $\nu_j$ число элементов выборки, попавших в интервал $A_j$:

$$\nu_j = \left\{ \text{число } x_i \in A_j \right\} = \sum_{i=1}^{n} I(x_i \in A_j), \text{здесь } \sum_{j=1}^{k} \nu_j = n. \qquad (1.14)$$

На каждом из интервалов Aj строят прямоугольник, площадь которого пропорциональна νj. Общая площадь всех прямоугольников должна равняться единице. Пусть lj— длина интервала Aj. Высота fj прямоугольника над Aj равна

$$f_j = \frac{\nu_j}{n l_j} \qquad (1.15)$$

Полученная фигура называется гистограммой.

Пример 2.

Имеется вариационный ряд (см. пример 1):

(0;2;1;2,6;3,1;4,6;1;4,6;6;2,6;6;7;9;9;2,6)

Разобьем отрезок [0;10] на 4 равных отрезка. В отрезок $A_1$=[0;2,5) попали 4 элемента выборки, в $A_2$=[2,5;5) — 6, в $A_3$=[5:7,5) — 3, и в отрезок $A_4$=[7,5;10] попали 2 элемента выборки. Строим гистограмму (рисунок 1.5). На рисунке 1.6 тоже гистограмма для той же выборки, но при разбиении области на 1.5 равных отрезков.

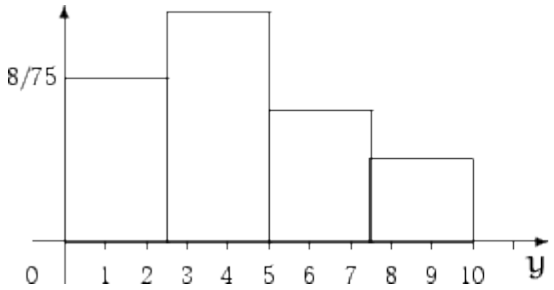



Рисунок 1.5 – гистограмма при разбиении на 4 отрезка.

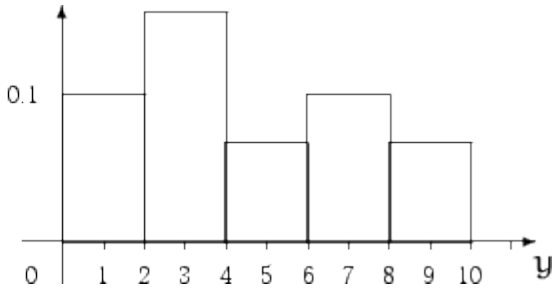



Рисунок 1.6 – гистограмма при разбиении на 5 отрезков

Замечание 1.

В курсе «Эконометрика» утверждается, что наилучшим числом интервалов группировки («формула Стерджесса») является $k = k(n) = 1 + [3.322 \lg n]$. Здесь $\lg n$ — десятичный логарифм, поэтому $k = 1 + [\log_2 10 \log_{10} n] = 1 + [\log_2 n]$, т.е. при увеличении выборки вдвое число интервалов группировки увеличивается на 1. Заметим, что чем больше

интервалов группировки, тем лучше. Но, если брать число интервалов, скажем, порядка n, то с ростом n гистограмма не будет приближаться к плотности.

Справедливо следующее утверждение:

Если плотность распределения элементов выборки является непрерывной функцией, то при $k(n) \to \infty$ так, что $k(n)/n \to 0,$ имеет место поточечная сходимость по вероятности гистограммы к плотности.

Так что выбор логарифма разумен, но не является единственно возможным.

## 2. Постановка задачи декомпозиции функции распределения Парето простейшими потоками.

Современная концепция создания систем управления качеством на производстве базируется на процессном подходе. В рамках этой концепции разработаны и внедряются методологии функционального моделирования основанная на синтезе, функциональных информационных и динамических моделей (нотации IDEF0, IDEF 1, IDEF 2)

В основе этих методов лежит процессный подход, использующий понятия различных потоков и связанных с ними явлений. Это в свою очередь неудивительно т к еще в начале 70-х годов ANSI выпустил официальный сборник методических рекомендаций по оптимальной организации бизнес процессов для различных сфер деятельности. В основе описания методов нахождения оптимальных параметров таких процессов лежит теория систем массового обслуживания, рекомендуемая и в современных нотациях серии IDEF.

Однако использование идеализированных законов распределения вероятности наступления различных явлений в этих процессах приводит порой к неверному результату, ставящему под сомнения адекватность разработанной системы менеджмента качества (как например трудности по внедрению системы менеджмента качества в Газпроме).

Тем не менее известно, что процессы в которые вовлечен человек описываются распределением Парето, характеризуемого наличием конечного множества причин наблюдения того или иного явления, имеющим строгую иерархическую вложенность.

Предположим, что в основе природы наблюдения таких явлений (имеющих распределение Парето) лежит совокупность различных элементарных потоков, характеризующихся индивидуальными свойствами. В силу того, что наиболее адекватным с практической точки зрения являются модели простейших потоков (характеризуемых единственным параметром –

интенсивностью) можно предложить следующую модель формирования наблюдаемых при синтезе СМК явлений представленную на рисунке 2.

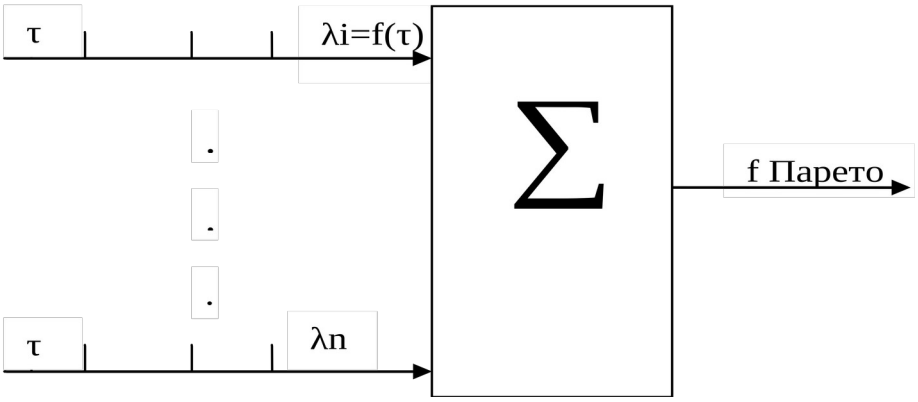



Рисунок 2- модель формирования сложных явлений с распределением Парето.

Тогда для нахождения количества причин (n) и их параметров {λ} можно сформулировать следующую математическую задачу: "найти такие n и {$\lambda_1 \ldots \lambda_n$}, для которых"

$$W = \left[ \begin{array}{c} критерий.разницы( f^{*}_{Парето}(x) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i e^{-\lambda x} k_i,\ f_{Парето}(x)) \\ \{x\}, x \in 0,\ldots, x_{\max} \end{array} \right] \rightarrow \min < \varepsilon_{доп} \qquad (2.1)$$

где $k_i$ коэффициент характеризующий чувствительность к проявлению i причины, $\varepsilon_{доп}$ допустимая ошибка аппроксимации распределения Парето композицией простейших потоков.

# 3. Решение математической задачи и проектирование программы

## 3.1 Выбор метода решения математической задачи

При решении задачи об аппроксимации потоков с распределением Парето, предполагалось, что параметры этого распределения известны. Речь идет о двух параметрах: a – параметр показателя степени и b – параметр, соответствующий минимально допустимому значению аргумента t , при условии, что функция плотности рассматриваемого закона распределения представляет собой известное выражение:

$$f(t) = \frac{a}{b} \cdot \left( \frac{b}{t+b} \right)^{a+1} \qquad (3.1)$$

Тем не менее, в основе такой задачи лежит анализ, прежде всего эмпирических данных, для которых такие показатели являются неизвестными. В силу того, что задача о подобной композиции решается численными методами, требование к точности нахождения этих параметров весьма высоки.

Известные методы идентификации параметров распределений с «тяжелыми» хвостами обладают достаточной спецификой, которая опирается на утверждение об априорной известности вида закона распределения исследуемого массива данных. В их основе лежат, как правило, регрессионные методы поиска дважды логарифмированного полигона частот.

Однако, применение этих методов для апробации их приемлемости в рамках объявленной в задачи, выявило слишком большую ошибку идентификации параметра a.

Для его нахождения с большей точностью было проведено исследование нескольких методов параметрической идентификации эмпирических данных с распределением Парето, полученных путем генерации методом обратной функции для известных параметров a и b. Всего было проанализировано 10 вариантов различных значений этих параметров (см. таблицу 3.1). Для каждого варианта генерировалась выборка, состоящая из 100 чисел, полученных методом обратной функции.

Таблица 3.1 – исходные значения параметров, *a* и *b* для исследования

| № вариант а | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *a* | 1,090 | 0,436 | 0,335 | 0,742 | 1,323 | 0,191 | 1,747 | 1,664 | 1,411 | 0,950 |
| *b* | 9,292 | 2,901 | 7,606 | 6,538 | 3,187 | 2,647 | 5,315 | 9,855 | 6,027 | 3,373 |

При идентификации параметров весь интервал распределялся на 7 «карманов» одинаковой длины и использовалось расстояние $\chi^2$ и расстояние Колмогорова- Смирнова.

Для поиска параметров вводилось допущение, что $b = \min(\{x_1, ..., x_{100}\})$, а значение a подбиралось путем сквозного перебора от 0.01 до 2, причем принималось решение о том значении a, $a = a^*$, для которого соответствующее расстояние ($\chi^2$ и расстояние Колмогорова- Смирнова) являлось минимальным. Результаты этого исследования представлены в таблице 3.2 и на рисунках 3.1,3.2.

Таблица 3.2 – результаты поиска параметра *a** по двум расстояниям ( $\chi^2$ и расстоянию Колмогорова- Смирнова).

| *a* | *b* | *a** для расстояния $\chi^2$ | Относительная погрешность *a*, $a_x$ | *a** для расстояния Колмогорова - Смирнова | Относительная погрешность *a*, $a_{K-C}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1,0902 | 9,2925 | 1 | 8,27% | 1,03 | 5,52% |
| 0,4362 | 2,9007 | 0,49 | 12,33% | 0,41 | 6,01% |
| 0,3349 | 7,6057 | 0,39 | 16,45% | 0,32 | 4,45% |
| 0,7417 | 6,5381 | 0,68 | 8,32% | 0,7 | 5,62% |
| 1,3233 | 3,1866 | 1,15 | 13,09% | 1,25 | 5,54% |
| 0,1908 | 2,6472 | 0,21 | 10,06% | 0,18 | 5,66% |
| 1,7473 | 5,3153 | 1,53 | 12,44% | 1,65 | 5,57% |
| 1,6645 | 9,8547 | 1,48 | 11,08% | 1,57 | 5,68% |
| 1,4114 | 6,0272 | 1,24 | 12,14% | 1,33 | 5,77% |
| 0,9504 | 3,3731 | 0,83 | 12,66% | 0,9 | 5,30% |

Исходя из таблицы получаем относительная погрешность a, $a_x$ максимальная равняется 16,45%, а среднее 11,69%. Тогда как относительная погрешность a, $a_{K-C}$ максимальная 11,69%, а средняя 5,51%. Из анализа результатов видно, что в рамках рассматриваемой задачи работа с квадратом расстояния между эмпирическим и подбираемым (относительно, a и b) законами распределения существенно проигрывает абсолютному расстоянию, которое используется в критерии Колмогорова-Смирнова.

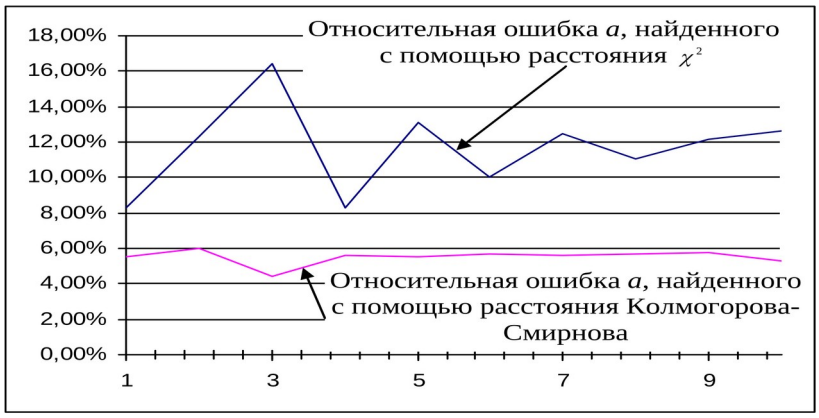



Рисунок 3.1 – ошибка поиска параметра a

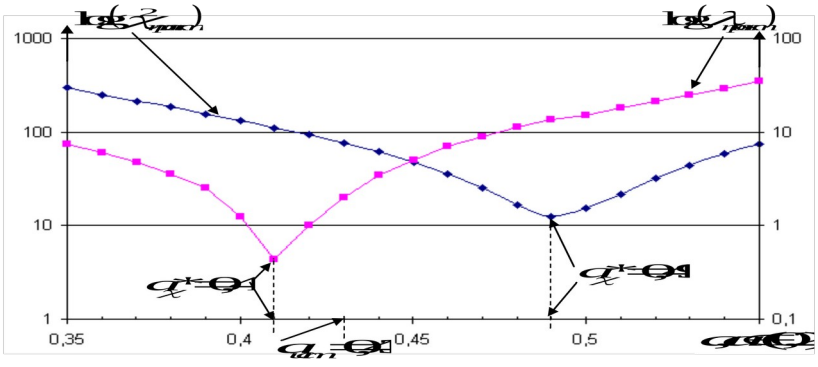



Рисунок 3.2 – подбор параметра a для второго варианта

Это обстоятельство позволило предположить, что применение предложенного в (3.1) расстояния между дифференциальными законами распределения даст также малую ошибку идентификации параметра a.

Для исследования обоснованности этого предположения по эмпирическим данным воспроизводился полигон частот для каждого опытного значения (считалось приращение по t) и приведенное к t приращение. Впоследствии такой закон сглаживался по 2, 3 и 4 ближайшим точкам и подбирался параметр a, такой для которого:

$$W^* = \sum_{i=1}^{n=100} \frac{\left| f - f(a^*, b) \right|}{f + f(a^*, b)} \rightarrow \min \qquad (3.2)$$

Результаты этого исследования представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - результаты подбора $a^*$ по критерию (3.2)

| Сглаживание | Относительная погрешность $a$ |
|---|---|
| Без сглаживания | 3,01% |
| Сглаживание по 2-м точкам | 5,13% |
| Сглаживание по 3-м точкам | 1,87% |
| Сглаживание по 4-м точкам | 0,12% |

Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы:

- во-первых, комплексное использование расстояний $\chi^2$ и расстояние Колмогорова- Смирнова позволяет принципиально судить о принадлежности закона распределения эмпирических данных к семейству степенных, к которым относится и распределение Парето,

- во-вторых, использование критерия типа (3.2) позволяет значительно повысить точность идентификации параметра $a$ при анализе эмпирически полученных данных с распределением Парето,

- в-третьих, использование даже простейших алгоритмов сглаживания позволяет значительно снизить ошибку подбора параметра $a$ (до порядка),

- в-четвертых, предположение о том, что параметр $b$ равен минимальному значению в рассматриваемом множестве при объеме этого множества более 100 - достаточно обоснованное,

- в-пятых, предполагается, что использование составных критериев, при поиске параметра $a$, аналогичных предложенным в (3.1), позволит решать эту задачу более эффективно и при более малых значениях объема выборки, но это – отдельная задача исследования.

### 3.2 Решение задачи при композитном критерии оптимальности

В работе представлены алгоритмы идентификации вида и параметров эмпирического закона распределения типа Парето по критерию Пирсона и Колмагорова-Смирнова. В работе было замечено, что оба этих критерия удовлетворительно работают при идентификации вида закона распределения, однако для параметрической идентификации – весьма слабы. Для решения этой проблемы был придуман новый алгоритм параметрической идентификации.

В процессе создания алгоритма были произведены множество экспериментов, по минимизации целевой функции невязки, основанной на расстоянии Камберра (3.3). Тем не менее, использование такого подхода оправдано лиш в условии существования допущения о равномерности характера наблюдаемой выборки.

$$W^* = \frac{\left| f - f(a^*, b) \right|}{\left| f + f(a^*, b) \right|} \tag{3.3}$$

Не получив приемлемого результата, было сделано предположении о необходимости применении фильтрации для «искусственного выравнивания». В ходе решения этой задачи были испытаны фильтры второго, третьего и четвертого порядка.

$$f(t) = \frac{f(t) + f(t+1)}{2} \tag{3.4}$$

$$f(t) = \frac{f(t) + f(t+1) + f(t+2)}{2} \tag{3.5}$$

$$f(t) = \frac{f(t) + f(t+1) + f(t+2) + f(t+3)}{4} \tag{3.6}$$

Графическое представление применение фильтрации показано на рисунке 3.3. В результате эксперимента было определенно, что наиболее эффективно использование фильтра четвертого порядка (см. таблица 3.4).

Таблица 3.4 – результаты применения фильтрации для идентификации параметра a

| Номер фильтра | Значение параметра a | Ошибка, % |
|---|---|---|
| Без применения фильтра | 0,484966 | -3,01% |
| Второго порядка | 0,474339 | -5,13% |
| Номер фильтра | Значение параметра a | Ошибка, % |
| Третьего порядка | 0,490629 | -1,87% |
| Четвертого порядка | 0,500582 | 0,12% |

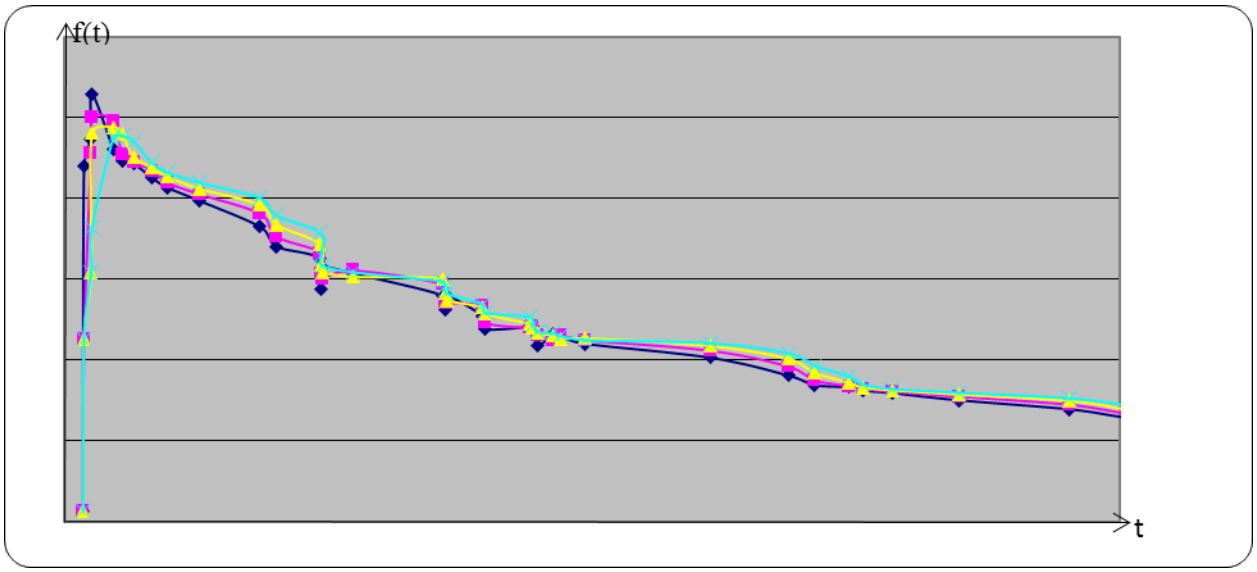



Рисунок 3.3 – графическое представление применения фильтрации

### 3.3 Декомпозиция функции Парето на простейшие потоки

Ранее, было высказано предположение о том, что распределение Парето, присущее различным процессам, связанным фрактальными явлениями, может быть представлено в виде композиции простейших потоков. Причем подобная композиция предлагалась в виде аддитивной разновесовой композиции таких потоков, где вес интерпретируется как «вклад по вероятности» каждого отдельного простейшего потока (со своим индивидуальным параметром – интенсивностью) в общую стохастическую картину наблюдаемого явления:

$$f_{Парето}(t) = \frac{a}{b}\left(\frac{b}{t}\right)^{a+1} \approx \sum_{i=1}^{n} c_i \cdot f_i(\lambda_i, t) = \sum_{i=1}^{n} c_i \cdot \lambda_i \cdot e^{-\lambda_i t} \qquad (3.7)$$

где $a$ и $b$- параметры закона распределения Парето, аппроксимируемого композицией $n$ простейших потоков со своими функциями плотности распределения $f_i(\lambda_i, t)$.

Там же, было высказано предположение, что трудность нахождения конкретных параметров такой декомпозиции (решение задачи поиска $n$, $\{c_1,...,c_n\}$ и $\{\lambda_1,...,\lambda_n\}$) связана с необходимостью использования сегментного критерия качества предполагаемой аппроксимации. Однако никаких доказательств подобных утверждений предложено не было, что ставит под сомнение объективность предложенных утверждений.

Для проверки обоснованности описанных выше суждений разберем конкретную задачу об аппроксимации функции распределения Парето с известными параметрами $(a = 0.5,\ b = 2)$ неизвестным количеством простейших потоков с неизвестными параметрами ($\{\lambda\}$).

Для этого определим значения истинной функции плотности распределения Парето на интервале $t_{\min} = b, b+1,...,1000$ в узлах, соответствующих целым значениям $t$. Эти истинные значения функции плотности распределения обозначим для краткости $y$:

$$y = y(t) = \frac{a}{b}\left(\frac{b}{t}\right)^{a+1} \quad (3.8)$$

Определим прогнозное значение этой же функции, зависящей от $n$, $\{c_1,...,c_n\}$ и $\{\lambda_1,...,\lambda_n\}$ через $y^*$, а именно:

$$y^* = y(t, n, \{\lambda\}, \{c\}) = \sum_{i=1}^{n} c_i \cdot \lambda_i \cdot e^{-\lambda_i t} \quad (3.9)$$

Тогда в качестве критерия оптимальности, используемом при решении задачи параметрической оптимизации (поиска неизвестных $n$, $\{c_1,...,c_n\}$ и $\{\lambda_1,...,\lambda_n\}$) можно использовать следующий:

$$W1(t,\{\lambda\},\{c\})\Big|_{t\in[t_{min},t_{max}]} + W2(t,\{\lambda\},\{c\})\Big|_{t\in[t_{min},t_{max}]} \to \min \quad (3.10)$$

$$W1(t,\{\lambda\},\{c\}) = \sqrt{\int_{t\min}^{t\text{гран}} (y(t) - y^*(t,\{\lambda\},\{c\}))^2 dt} \quad (3.11)$$

где:

$$W2(t,\{\lambda\},\{c\} = \int_{t\text{гран}}^{t\max} \frac{|y(t) - y^*(t,\{\lambda\},\{c\}|}{|y(t) + y^*(t,\{\lambda\},\{c\}|} dt \quad (3.12)$$

Для рассматриваемого примера использовалась среда Ms Excel со встроенным модулем «Поиск решения» и оба интегральных критерия заменены на суммы.

При этом рассматривалось три гипотезы на фоне глобального условия ($0 \le \lambda_i \le 1$):

- H1: количество простейших потоков не превышает 10.
- H2: количество простейших потоков не превышает 15.
- H3: количество простейших потоков не превышает 20.

При этом в первом случае решалась 20-и параметрическая оптимизационная задача (10 - $\lambda$ и 10- $c$). Во втором случае – 30-и параметрическая оптимизационная задача. И в третьем – 40-ка параметрическая оптимизационная задача. Результаты представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Сводная таблица решений параметрической задачи о нахождении параметров декомпозиции распределения функции распределения Парето с параметрами $(a=0.5,\ b=2)$ простейшими потоками.

| 10 | | 15 | | 20 | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\{\lambda\}$ | $\{c\}$ | $\{\lambda\}$ | $\{c\}$ | $\{\lambda\}$ | $\{c\}$ |
| 0,001233 | 0,057804 | 0,001229 | 0,057619 | 0,001237 | 0,057833 |
| 0,005473 | 0,067981 | 0,005418 | 0,066947 | 0,005463 | 0,067376 |
| 0,015294 | 0,094336 | 0,014813 | 0,089572 | 0,014961 | 0,089967 |
| 0,039186 | 0,148114 | 0,036358 | 0,135136 | 0,036591 | 0,134687 |
| 0,100418 | 0,2388 | 0,088669 | 0,213013 | 0,72478 | 0,016789 |
| 0,27555 | 0,514324 | 0,249326 | 0,180809 | 0,088806 | 0,213116 |
| 1 | 0,323844 | 0,221651 | 0,273561 | 0,236617 | 0,185232 |
| 1 | 0,33919 | 0,80794 | 0,228304 | 0,233162 | 0,295626 |
| 1 | 0,35891 | 1 | 0,267581 | 0,863275 | 0,161364 |
| | | 1 | 0,666509 | 1 | 0,406934 |
| | | | | 1 | 0,551124 |

Из анализа результатов видно, что в результате отработки первой гипотезы количество потоков равно 7, т.к. действует правило:

$$c1 \cdot e^{-\lambda t} + c2 \cdot e^{-\lambda t} = (c1 + c2) \cdot e^{-\lambda t} \qquad (3.13)$$

Из анализа результатов второй гипотезы можно сделать практически такой же вывод (объединению подлежат 6 и 7 результат, а также 8, 9 и 10). Следует отметить, что остальные результаты в таблице не приведены, т.к. коэффициенты значимости при них равны 0.

Анализ результатов третьей гипотезы также говорит в пользу семи причин (простейших потоков), т.к. объединению подлежат 5 и 9, 7 и 8, а также 10 и 11 результаты.

Параметры найденных простейших потоков довольно устойчивы от гипотезы к гипотезе (различие объясняется параметрами сходимости алгоритма оптимизации, который в данном случае допускал сходимость по

умолчанию – 0,0001 и допустимое отклонение аргументов – 5%). Причем значимость этих потоков отличается почти в 20 раз.

Таким образом, предлагаемое решение задачи декомпозиции Паретовского процесса с заданными частными параметрами может быть представлено, как показано на рисунке 3.4.

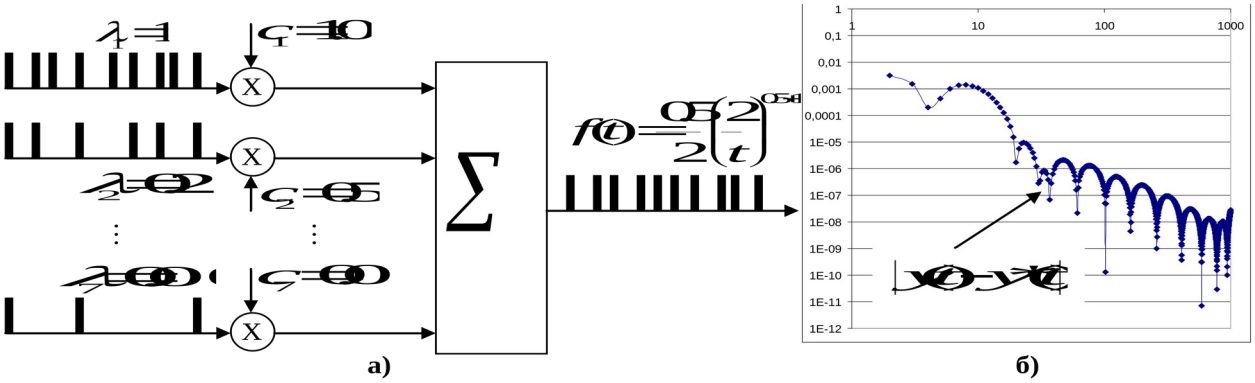



Рисунок 3.4 – Механизм декомпозиции процесса с Паретовским законом распределения (**а**) и модуль ошибки такой декомпозиции (**б**)

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- декомпозиция функции распределения Парето весовой аддитивной композицией функций распределения простейших потоков с индивидуальными параметрами – возможна,

- увеличение количества слагаемых в такой декомпозиции к улучшению качества модели аппроксимации не ведет,

- для каждых конкретных значений параметров закона распределения Парето ($a$ и $b$) существует единственная декомпозиция с вполне конкретными параметрами простейших потоков,

- решение подобной задачи возможно с помощью нейросети прямого распространения, структура которой подобна предложенной в [3.12], критерий качества обучения которой является уникальным, подобным предложенному (3.13),

- задача о поиске оптимального значения $t_{гран}$ является задачей о равновеликости критериев $W1$ и $W2$, и является отдельной задачей исследования.

## 3.4 Разработка программного модуля

### 3.4.1 Выбор средства программирования

MatLab (сокращение от английского «Matrix Laboratory») — термин, относящийся к пакету прикладных программ для решения задач технических вычислений, а также к используемому в этом пакете языку программирования. MatLab используют более 1 000 000 инженерных и научных работников, он работает на большинстве современных операционных систем, включая GNU/Linux, Mac OS, Solaris и Microsoft Windows.

Mathworks Matlab — язык, при помощи которого совершается программирование математических и инженерных расчетов. Широкий набор

функций, позволяющий значительно упростить работу, а точнее, графический способ отображения данных. Язык MatLab дает возможность на высоком уровне осуществлять технические расчеты, является интерактивной средой для разработки алгоритмов, а также новейшим современным инструментом для анализа данных. В сравнении с традиционными инструментами программирования, таких как Pascal, Java, Fortran, с помощью MatLab можно сократить время на решение типовых задач и ощутимо упростить разработку алгоритмов. MatLab — это основа семейства продуктов MathWorks, с его помощью решается широкий спектр прикладных и научных задач в самых разных областях: обработка изображений и сигналов, финансовое планирование, вычислительная биология, разработка различных систем управления, моделирование объектов любой сложности, создание проектов для коммуникационных систем и другие.

MatLab — это язык высокого уровня, имеющий открытый код, что дает возможность опытным пользователям разбираться в запрограммированных алгоритмах. Простой встроенный язык программирования позволяет легко создавать собственные алгоритмы.

Язык программирования MatLab является типичным интерпретатором. Это означает, что каждая конструкция программы распознается и тут же исполняется, облегчает обеспечение диалогового режима общения с системой. Этап компиляции всех конструкций, то есть полной программы, отсутствует. Высокая скорость выполнения программ обеспечена наличием заведомо откомпилированного ядра, хранящего в себе критичные к скорости инструкции, такие как базовые математические и иные функции, а также тщательной отработкой системы контроля синтаксиса программ в режиме интерпретации.

Интерпретация означает, что MatLab не создает исполняемых конечных программ в виде машинных кодов. Программы существуют лишь в виде m-файлов. Для выполнения программ необходима среда MatLab. Однако для программ на языке MatLab созданы компиляторы,

транслирующие программы MatLab в коды языков программирования C и C++. Это решает задачу исполняемых программ, первоначально разрабатываемых в среде MatLab.

S-функции предназначены для построения пользовательских блоков системы Simulink. Они могут быть написаны в виде m-файлов системы MatLab или с использованием языков программирования C, Fortran, Ada. S-функции на языке C создаются посредством механизма системы MatLab, который носит название MEX-файла (буква «M» означает, что файл системы MatLab, а приставка «EX» — External, то есть «внешний».

Следует особо отметить, что не все инструкции MatLab могут компилироваться, так что перед компиляцией программы нуждаются в некоторой доработке. Зато скорость выполнения откомпилированных программ порою возрастает в 10-15 раз (правда, это достигается, как правило, для простых примеров с большими циклами).

Именно поэтому в качестве среды разработки программы, реализующая поиск и локализацию неисправностей в ЛВС на основе нисходящего логического вывода, была выбрана система программирования MATLAB.

3.4.2 Разработка алгоритма программы для диагностирования ЛВС

Для достижения поставленной цели дипломной работы необходимо разработать алгоритм работы программы, в котором будет выполняться следующая последовательность шагов.

Алгоритм работы программы представлен на рисунке 3.5.

3.4.3 Разработка программы

В дипломной работе разработка программы производилась в соответствии с рекомендованной технологией разработки приложений в среде программирования MATLAB, в соответствии со структурной схемой программы.

Для запуска программы воспользуйтесь строкой меню MATLAB: Fail: Open: выбрать Interface1.fig : кнопка ОТКРЫТЬ.

При нажатии кнопки «Начать работу» активизируется рабочая среда программы и загружаются в рабочую область необходимые компоненты и данные, необходимые для работы программы — исходные данные. Также активизируется окно диалога «Interface2.fig», вид которого представлен на рисунке 3.7.

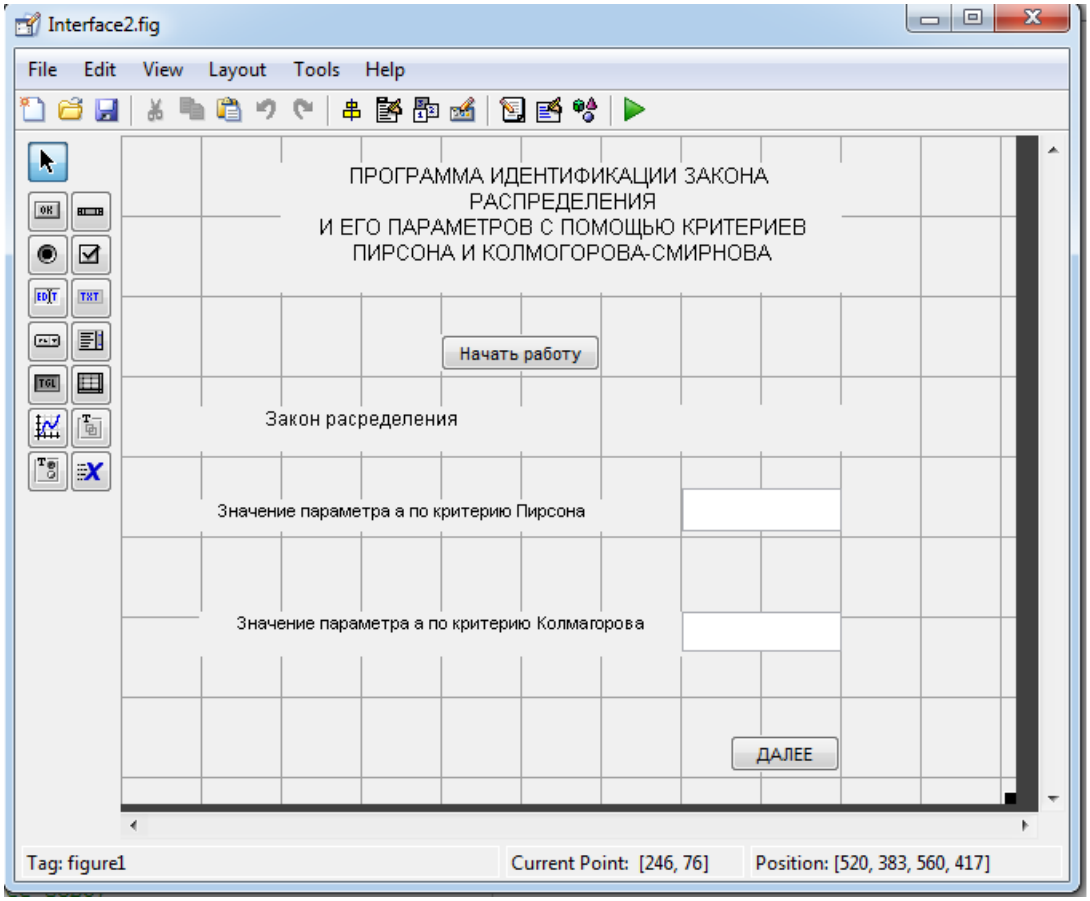



Рисунок 3.7 — Окно идентификации закона распределения

Окно состоит из раздела «закон распределения», «значение параметра a по критерию Пирсона», «значение параметра a по критерию Колмогорова-Смирнова» и двух активных кнопок: «Начать работу» и «Далее».

При нажатии кнопки «Начать работу» активизируется рабочая среда программы и загружаются в рабочую область необходимые компоненты и данные, идентифицируется закон распределения и его параметры. При нажатии кнопки «Далее» активизируется окно диалога «Interface123.fig», вид которого представлен на рисунке 3.8.

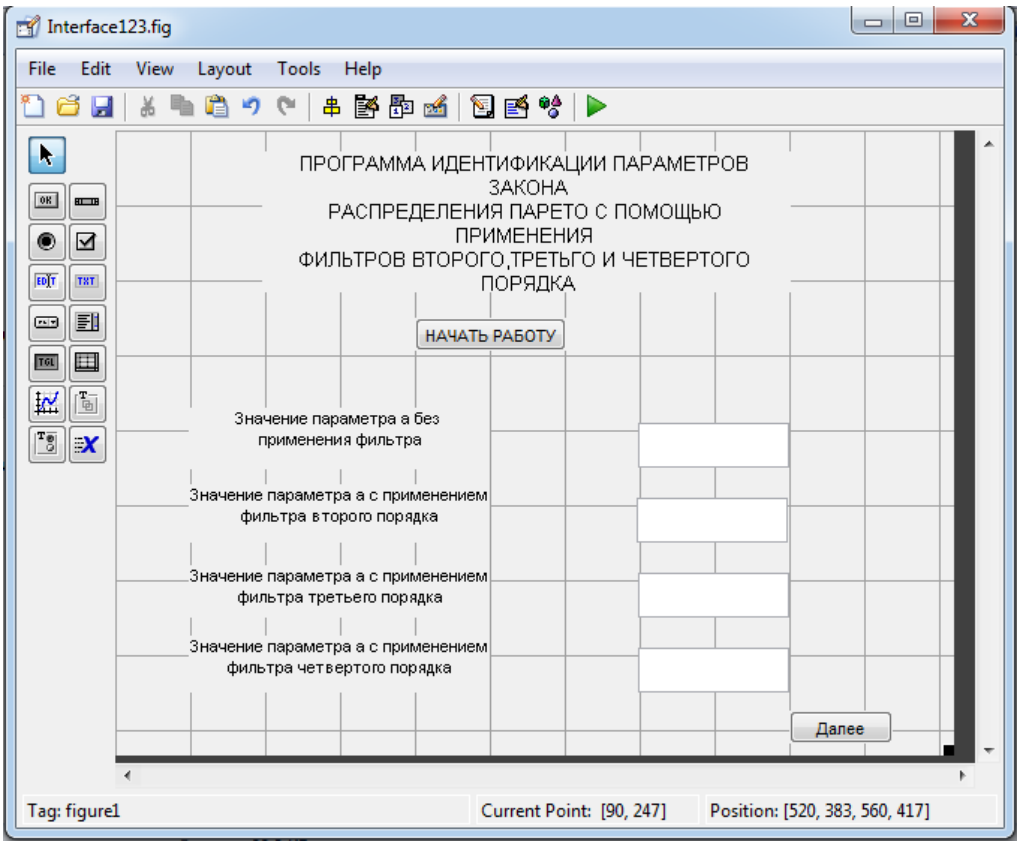



Рисунок 3.8 – Окно применения фильтров

Окно состоит из раздела «Значение параметра a без применения фильтра», «Значение параметра a с применением фильтра второго порядка», «Значение параметра a с применением фильтра третьего порядка», «Значение параметра a с применением фильтра четвертого порядка» и двух активных кнопок: «Начать работу» и «Далее».

При нажатии кнопки «Начать работу» активизируется рабочая среда программы и загружаются в рабочую область необходимые компоненты и данные, идентифицируется параметры закона распределения. При нажатии кнопки «Далее» активизируется окно диалога «Interface22.fig», вид которого представлен на рисунке 3.9.

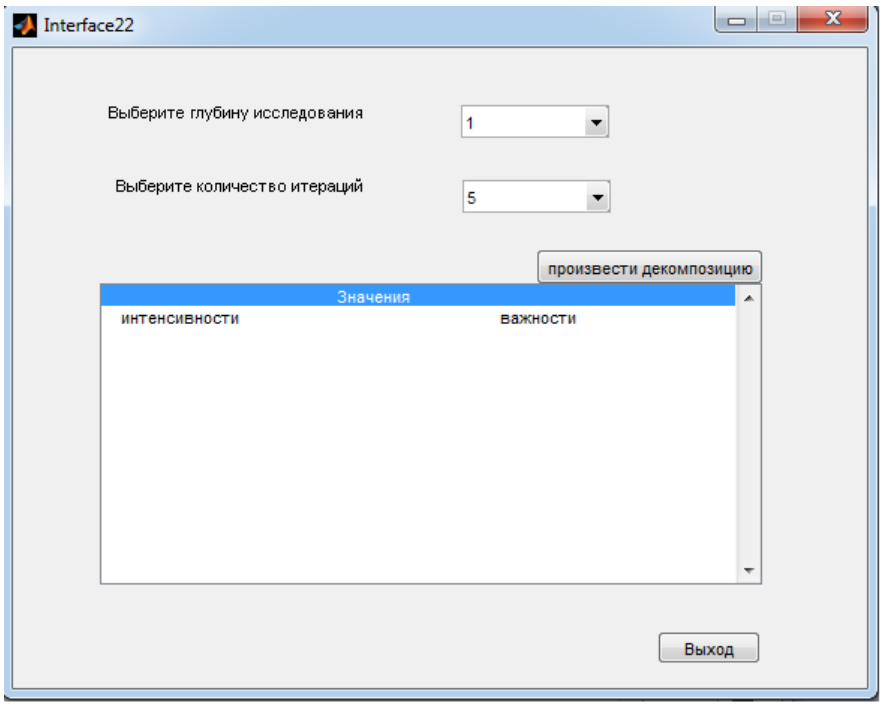



Рисунок 3.9 – Окно декомпозиции закона распределения

Окно состоит из раздела «выберите глубину исследования», «выберите количество итераций», области вывода массива данных и двух активных кнопок: «произвести декомпозицию» и «Выход».

При нажатии кнопки «произвести декомпозицию» активизируется рабочая среда программы и загружаются в рабочую область необходимые компоненты и данные, производится декомпозиция закона распределения. При нажатии кнопки «Выход» осуществляется выход из программы.

# 4. Оценка экономической эффективности проекта.

## 5.1 Планирование разработки системы тестирования с построением сетевого графика выполнения работ

Чётко составленный план работы является основным условием её выполнения в установленные сроки. Планирование дипломного проекта осуществлено на основе сетевого графика.

5.1.1 Основные этапы разработки программного обеспечения

Все работы по разработке и внедрению ПО разделены на 5 стадий

- техническое задание (ТЗ);
- эскизный проект (ЭП);
- технический проект (ТП);
- рабочий проект (РП);
- внедрение (ВН).

В таблице 5.1 приведено содержание основных работ по каждому этапу разработки ПС.

Таблица 5.1 – Стадии разработки и содержание работ

| № | Содержание работ | Стадии разработки |
|---|---|---|
| 1 | Постановка задачи | Техническое задание (ТЗ) |
| 2 | Сбор исходных материалов | |
| 3 | Выбор и обоснование критериев эффективности и качества разрабатываемой программы. | |
| 4 | Определение структуры входных и выходных данных | |
| 5 | Предварительный выбор методов решения задач. | |
| 6 | Обоснование целесообразности применения ранее разработанных программ. | |
| 7 | Определение требований к техническим средствам | |
| 8 | Определение требований к программе | |
| 9 | Разработка технико-экономического обоснования разработки программы | |
| 10 | Определение стадий, этапов и сроков разработки программы и документации на неё. | |

| | | |
|---|---|---|
| 11 | Выбор языка программирования | |
| 12 | Согласование и утверждение ТЗ | |
| 13 | Предварительная разработка структуры входных и выходных | Эскизный проект (ЭП) |
| 14 | Уточнение методов решения задачи. | |
| 15 | Разработка общего описания алгоритма решения задачи | |
| 16 | Разработка пояснительной записки. | |
| 17 | Согласование и утверждение ЭП | |
| 18 | Разработка алгоритма решения задачи | Технический проект (ТП) |
| 19 | Определение формы представления входных и выходных данных | |
| 20 | Разработка структуры программы | |
| 21 | Окончательное определение конфигурации технических средств. | |
| 22 | Разработка плана мероприятий по разработке и внедрению | |
| 23 | Разработка пояснительной записки. | |
| 24 | Согласование и утверждение ТП | |
| 25 | Программирование и отладка программы. | Рабочий проект (РП) |
| 26 | Изготовление программы-оригинала. | |
| 27 | Разработка программных документов в соответствии с требованиями ГОСТ 19.101-77. | |
| 28 | Разработка, согласование и утверждение порядка и методики испытаний. | |
| 29 | Проверка работоспособности на реальных исходных данных | |
| 30 | Корректировка программы и программной документации по результатам испытаний | |
| 31 | Подготовка и передача программы и программной документации для сопровождения и изготовления | Внедрение (ВН) |
| 32 | Сдача в эксплуатацию | |

5.1.2 Расчет трудоёмкости отдельных этапов разработки программного средства.

При расчёте затрат времени на разработку программного средства учитываются следующие факторы:

- объем ПО (в тысячах условных машинных команд);

- сложность ПО;

- дополнительный коэффициент сложности $K_{сл}$;

- степень новизны ПО;

- степень использования в разработке стандартных модулей, типовых программ ПО.

Затраты времени и трудоёмкости на разработку программного средства (ПС) вычислительной техники (ВТ) определяют по следующему:

а) определение объёма ПС (в тысячах условных машинных команд):

$$V= N*\log_2 \eta \quad (5.1)$$

где V- объём ПС;

N-количество законченных строк программы;

$\eta$ - количество циклов, функций, процедур.

Объем СПО, требующего разработки, N=1002 строки, $\eta$=219. Исходя из этого, объем программы будет равен:

$V= 1002*\log_2 219=7796$ (машинных команд);

Определение удельного веса трудоёмкости разработки (L).

А - разработка комплекса задач, предусматривающая применение принципиально новых методов разработки, проведение научно-исследовательских работ;

Б - разработка типовых проектных решений, оригинальных задач и систем, не имеющих аналогов;

В - разработка проекта с использованием типовых проектных решений, при условии их изменения; разработка проектов, имеющих аналогичные решения;

Г - привязка типовых проектных решений.

Поскольку данная программа уже имеет аналоги, то степень новизны можно определить как «разработка проекта с использованием типовых проектных решений, при условии их изменения, разработка проектов, имеющих аналогичные решения. (В). Поэтому удельный вес L=0,61.

Исходя из выше сказанного коэффициент, учитывающий уровень повышения сложности ПС ВТ $K_i = \frac{0.15 + 0.20}{2} = 0{,}18$

Коэффициент сложности программного средства определяется по формуле (5.2).

$$K_{сл} = 1 + K_i = 1 + 0{,}18 = 1{,}18 \quad (5.2)$$

Определение затрат труда на разработку ПС (Тр) производится по таблице 5.2.

Из таблицы 5.2 следует что Тр=385 чел./дней № нормы 8;

Расчёт общей трудоёмкости разработанного ПС производиться по формуле:

$$T_0 = K_{сл} * T_р \quad (5.3)$$

где То-общая трудоёмкость;

Ксл- дополнительный коэффициент сложности;

Тр- затраты труда.

Следовательно общая трудоёмкость равна: То=1,18Х385=454 (чел./дней);

Таблица 5.2 - Затраты труда на разработку ПС

| Объем ПСВТ, тыс. условн. машинных команд | Группа сложности ПС | | | Номер нормы |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | |
| | Норма времени чел.-дни | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5.00 | - | 2260 | 306 | 5 |
| 6.00 | - | 2291 | 330 | 6 |
| 7.00 | - | 2322 | 357 | 7 |
| 8.00 | - | 2354 | 385 | 8 |
| 9.00 | - | 2389 | 414 | 9 |

Определение значения поправочного коэффициента Кн.

Таблица 5.3 - Степень новизны ПС

| Код новизны | Степень новизны | Использование | | Значение $К_н$ |
|---|---|---|---|---|
| | | нового типа ЭВМ | новой ОС | |
| А | Принципиально новые ПС, не имеющие аналогов | +<br>-<br>+<br>- | +<br>+<br>-<br>- | 1,75<br>1,6<br>1,2<br>1,0 |
| Б | ПС, являющиеся развитием определенного параметрического ряда ПС | +<br>- | +<br>+ | 1,0<br>0,9 |
| В | ПС, являющиеся развитием определенного параметрического ряда ПС | +<br>- | -<br>- | 0,8<br>0,7 |

Разрабатываемое ПС является развитием определённого параметрического ряда ПС без использования нового типа ЭВМ или новой ОС, следовательно ПС имеет код степени новизны*В* и $K_н$ = 0,7.

Значение коэффициента использования в разработке типовых (стандартных) подпрограмм и функций($K_Т$) определяем из таблицы 5.4.

Таблица 5.4 - Значение коэффициентов использования типовых программ ПС

| Степень охвата реализуемых функций разрабатываемого ПС типовыми (стандартными) программами и ПС, % | Значение $К_Т$ |
|---|---|
| 60 и выше<br>40-60<br>20-40<br>до 20<br>Типовые программы и ПС не используются | 0,6<br>0,7<br>0,8<br>0,9<br>1,0 |

$K_Т$ = 0,6, так как разрабатываемое ПС использует более 60% типовых процедур и функций.

Расчёт трудоёмкости каждой стадии разработки ПС ($Т_i$):

$$Т_i = L_i \cdot К_Н \cdot К_Т \cdot Т_{ОБЩ} \quad (5.4)$$

где $L_i$ - удельный вес трудоемкости *i*-ой стадии разработки.

Таблица 5.5 - Удельный вес трудоемкости каждой стадии разработки

| Код стадии разработки | Степень новизны | | |
|---|---|---|---|
| | А | Б | В |
| ТЗ | 0,11 | 0,10 | 0,09 |
| ЭП | 0,09 | 0,08 | 0,07 |
| ТП | 0,11 | 0,09 | 0,07 |
| РП | 0,55 | 0,58 | 0,61 |
| ВН | 0,14 | 0,15 | 0,16 |

В соответствии со значениями удельных весов трудоемкости, трудоёмкости отдельных стадий разработки, коэффициентов использования типовых программ, трудоемкость стадий разработки программного средства имеют следующие значения:

$$T_{ТЗ} = L_{ТЗ} \cdot K_Н \cdot K_Т \cdot T_{ОБЩ} = 0{,}09 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}6 \cdot 454 = 17 \text{ (чел.-дн.)},$$

$$T_{ЭП} = L_{ЭП} \cdot K_Н \cdot K_Т \cdot T_{ОБЩ} = 0{,}07 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}6 \cdot 454 = 13 \text{ (чел.-дн.)},$$

$$T_{ТП} = L_{ТП} \cdot K_Н \cdot K_Т \cdot T_{ОБЩ} = 0{,}07 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}6 \cdot 454 = 13 \text{ (чел.-дн.)},$$

$$T_{РП} = L_{РП} \cdot K_Н \cdot K_Т \cdot T_{ОБЩ} = 0{,}61 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}6 \cdot 454 = 116 \text{ (чел.-дн.)},$$

$$T_{ВН} = L_{ВН} \cdot K_Н \cdot K_Т \cdot T_{ОБЩ} = 0{,}16 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}6 \cdot 454 = 31 \text{ (чел.-дн.)}.$$

Итоговая трудоемкость $T_{СУМ}$ равна сумме трудоемкостей каждого из этапов:

$$T_{СУМ} = T_{ТЗ} + T_{ЭП} + T_{ТП} + T_{РП} + T_{ВН} \text{ (чел.-дн.)} \qquad (5.5)$$

Подставим значения в формулу (5.5):

$$T_{СУМ} = 17 + 13 + 13 + 117 + 31 = 191 \text{ чел.-дн.}$$

Трудоемкость каждого вида работ $T_{раб}$ от общей трудоемкости стадии ($T_{ст}$)определяется по формуле:

$$T_{раб} = K_в \cdot T_{ст} \qquad (5.6)$$

где $K_в$ - весовой коэффициент ( $0 < K_в < 1$, $\Sigma K_{вi} = 1$).

Расчет продолжительности работ $T_ц$ в днях по всем работам определяется по формуле (5.7)

$$T_{Ц} = \frac{T_{РАБ} \cdot K_{Н}}{W_{Р}} \quad (5.7)$$

где $T_{Ц}$ –продолжительность каждой работы в днях;

$T_{РАБ}$ – трудоемкость каждого вида работ;

$W_{Р}$ – количество работников, одновременно занятых в работе;

$K_{Н}$ – коэффициент выполнения нормы, $K_{Н} = 1{,}1 - 1{,}2$.

Таблица 5.6 - Данные о назначенных на каждую работу исполнителей

| Содержание работ | Исполнитель | Кол-во человек |
|---|---|---|
| Постановка задачи | Руководитель проекта | 1 |
| Сбор исходных материалов | Руководитель проекта | 1 |
| Выбор и обоснование критериев эффективности и качества разрабатываемой программы. | Руководитель проекта, программист | 2 |
| Определение структуры входных и выходных данных | Руководитель проекта, программист | 2 |
| Предварительный выбор методов решения задач. | Программист | 1 |
| Обоснование целесообразности применения ранее разработанных программ. | Руководитель проекта, программист | 2 |
| Определение требований к техническим средствам | Системный аналитик | 1 |
| Определение требований к программе | Руководитель проекта | 1 |
| Разработка технико-экономического обоснования разработки программы | Руководитель проекта, программист | 2 |
| Определение стадий, этапов и сроков разработки программы и документации на неё. | Руководитель проекта, программист | 2 |
| Выбор языка программирования | Программист | 1 |
| Согласование и утверждение ТЗ | Руководитель проекта, программист | 2 |
| Предварительная разработка структуры входных и выходных данных | Системный аналитик | 1 |
| Уточнение методов решения задачи. | Программист | 1 |
| Разработка общего описания алгоритма решения задачи | Программист | 1 |
| Разработка пояснительной записки. | Руководитель проекта | 1 |

| | | |
|---|---|---|
| Согласование и утверждение ЭП | Руководитель проекта, программист | 2 |
| Разработка алгоритма решения задачи | Программист | 1 |
| Определение формы представления входных и выходных данных | Руководитель проекта, программист | 2 |
| Разработка структуры программы | Программист | 1 |
| Окончательное определение конфигурации технических средств. | Системный аналитик | 1 |
| Разработка плана мероприятий по разработке и внедрению программы. | Руководитель проекта, Системный аналитик | 2 |
| Разработка пояснительной записки. | Руководитель проекта | 1 |
| Согласование и утверждение ТП | Руководитель проекта, программист | 2 |
| Программирование и отладка программы. | Программист | 1 |
| Изготовление программы-оригинала. | Программист | 1 |
| Разработка программных документов в соответствии с требованиями ГОСТ 19.101-77. | Руководитель проекта, программист | 2 |
| Разработка, согласование и утверждение порядка и методики испытаний. | Руководитель проекта, программист | 2 |
| Проверка работоспособности на реальных исходных данных | Программист, системный аналитик | 2 |
| Корректировка программы и программной документации по результатам испытаний | Руководитель проекта, программист | 2 |
| Подготовка и передача программы и программной документации для сопровождения и изготовления | Руководитель проекта, программист | 2 |
| Сдача в эксплуатацию | Руководитель проекта | 1 |

Данные по продолжительности каждого вида работ в календарных днях приведены в таблице 5.6.

Количество рабочих дней в году Траб.дн.=247, общее число дней Тгод. Для перевода рабочих дней в календарные Траб.дн нужно разделить на коэффициент календарных дней Кд

$$K_д = \frac{T_{раб.дн}}{T_{год}} \quad (5.8)$$

$$К_д = \frac{247}{365} = 0{,}68 \cdot$$

Продолжительность каждой работы в календарных днях $Т_к$ определяется по формуле:

$$Тк = Тц / Кд \qquad (5.9)$$

где $T_к$–продолжительность каждой работы в календарных днях;

$T_ц$–продолжительность каждой работы в днях;

$K_д$ – коэффициент календарных дней.

Таблица 5.7 – Перечень и продолжительность работ

| Содержание работ | $Т_i$, чел.-дн. | $К_в$ | $Т_{раб}$, чел.-дн. | $Т_ц$, раб.дни | $Т_к$, кал.дни |
|---|---|---|---|---|---|
| Постановка задачи | 17 | 0,11 | 2 | 2 | 3 |
| Сбор исходных материалов | | 0,10 | 2 | 2 | 3 |
| Выбор и обоснование критериев эффективности и качества разрабатываемой программы. | | 0,05 | 1 | 0,5 | 1 |
| Определение структуры входных и выходных данных | | 0,12 | 2 | 1 | 2 |
| Предварительный выбор методов решения задач. | | 0,07 | 1 | 1 | 2 |
| Обоснование целесообразности применения ранее разработанных программ. | | 0,05 | 1 | 0,5 | 1 |
| Определение требований к техническим средствам | | 0,07 | 1 | 1 | 2 |
| Определение требований к программе | | 0,10 | 2 | 2 | 3 |
| Разработка технико-экономического обоснования разработки программы | | 0,12 | 2 | 1 | 2 |
| Определение стадий, этапов и сроков разработки программы и документации на неё. | | 0,09 | 2 | 1 | 1 |
| Выбор языка программирования | | 0,05 | 1 | 1 | 1 |
| Согласование и утверждение ТЗ | | 0,07 | 1 | 1 | 1 |
| Предварительная разработка структуры входных и выходных данных | 13 | 0,25 | 3 | 4 | 5 |
| Уточнение методов решения задачи. | | 0,05 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Разработка общего описания алгоритма решения задачи | | 0,35 | 5 | 5 | 7 |
| Разработка пояснительной записки. | | 0,15 | 2 | 2 | 3 |
| Согласование и утверждение ЭП | | 0,20 | 3 | 1 | 2 |
| Разработка алгоритма решения задачи | 13 | 0,15 | 2 | 2 | 3 |
| Определение формы представления входных и выходных данных | | 0,16 | 2 | 1 | 2 |
| Разработка структуры программы | | 0,19 | 2 | 3 | 4 |
| Окончательное определение конфигурации технических средств. | 116 | 0,05 | 1 | 1 | 1 |
| Разработка плана мероприятий по разработке и внедрению программы. | | 0,10 | 1 | 1 | 1 |
| Разработка пояснительной записки. | | 0,15 | 2 | 2 | 3 |
| Согласование и утверждение ТП | | 0,20 | 3 | 1 | 2 |
| Программирование и отладка программы. | | 0,35 | 41 | 45 | 66 |
| Изготовление программы-оригинала. | | 0,20 | 23 | 26 | 38 |
| Разработка программных документов в соответствии с требованиями ГОСТ 19.101-77. | | 0,15 | 17 | 10 | 14 |
| Разработка, согласование и утверждение порядка и методики испытаний. | | 0,05 | 6 | 3 | 5 |
| Проверка работоспособности на реальных исходных данных | | 0,1 | 12 | 6 | 9 |
| Корректировка программы и программной документации по результатам испытаний | | 0,15 | 17 | 10 | 14 |
| Подготовка и передача программы и программной документации | 31 | 0,7 | 22 | 12 | 18 |
| Сдача в эксплуатацию | | 0,3 | 9 | 10 | 15 |

5.1.3 Построение сетевого графика выполнения работ

Календарный график выполнения работ составлен методом сетевого планирования и управления. Использование этого метода позволяет наглядно представить в комплексе и взаимосвязи перечень и объем работ и событий, совершение которых необходимо для осуществления поставленной цели.

Для построения сетевого графика составим таблицу 5.8, в которой указаны стадии работ, их продолжительности (*T*), количество рабочих (*N*) и последовательность выполнения работ.

Таблица 5.8 - Перечень событий и работ

| Код события | Содержание события | Код работ | *Предш. работа* | *Послед. работа* | *Содержание работ* | N | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | Решение о начале разработки принято | 0-1 | - | 1-2 | Постановка задачи | 1 | 3 |
| 1 | Задача поставлена | 1-2 | 0-1 | 2-3<br>2-4<br>2-5 | Сбор исходных материалов | 1 | 3 |
| 2 | Исходный материал собран | 2-3 | 1-2 | 3-6 | Выбор и обоснование критериев эффективности и качества разрабатываемой программы. | 2 | 1 |
| | | 2-4 | | 4-9 | Определение структуры входных и выходных данных | 2 | 2 |
| | | 2-5 | | 5-8 | Определение требований к техническим средствам | 1 | 2 |
| 3 | Критерии эффект.икач.разраб. прогр. выбраны и обосн. | 3-6 | 2-3 | 6-7 | Обоснование целесообразности применения ранее разработанных программ. | 2 | 1 |
| 4 | Структура вх. и вых. данных определена | 4-9 | 2-4 | 9-10 | Предварительный выбор методов решения задач. | 1 | 2 |
| 5 | Требования к технич. средствам определены | 5-8 | 2-5 | 8-9 | Определение требований к программе | 1 | 3 |
| 6 | Целесообразность применения ранее разработанных программ обоснована | 6-7 | 3-6 | 7-9 | Разработка технико-экономического обоснования разработки программы | 2 | 2 |
| 7 | Технико-экономич. обоснование разраб. программы разработано | 7-9 | 6-7 | 9-10 | Определение стадий, этапов и сроков разработки программы и документации на неё. | 2 | 1 |
| 8 | Требования к программе определены | 8-9 | 5-8 | 9-10 | Выбор языка программирования | 1 | 1 |
| 9 | Предв.мет.решения | 9-10 | 4-9 | 10-11 | Согласование и | 2 | 1 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | задач выбраны | | | | утверждение ТЗ | | |
| | Стадий, этапы и срокиразр.прогр. и док-ции на неё определены | | 7-9 | | | | |
| | Языкпрогр. выбран | | 8-9 | | | | |
| 10 | ТЗ утверждено и согласовано | 10-11 | 9-10 | 11-12<br>11-13 | Предварительная разработка структуры входных и выходных данных | 1 | 5 |
| 11 | Предварительная структура вх. и вых.данных разработана | 11-12 | 10-11 | 12-13 | Уточнение методов решения задачи. | 1 | 1 |
| | | 11-14 | | 14-15 | Разработка пояснительной записки. | 1 | 3 |
| 12 | Методы решения задачи уточнены | 12-13 | 11-12 | 13-14 | Разработка общего описания алгоритма решения задачи | 1 | 7 |
| 13 | Общийалг. решения задачи разработан | 13-14 | 12-13 | 14-15 | Согласование и утверждение ЭП | 2 | 2 |
| 14 | Пояснительная записка разработана | 14-15 | 11-14 | 15-16 | Разработка алгоритма решения задачи | 1 | 3 |
| | ЭП утвержден и согласован | | 13-14 | 15-17 | | | |
| 15 | Алгоритм решения задачи разработан | 15-16 | 14-15 | 16-19 | Определение формы представления входных и выходных данных | 2 | 2 |
| | | 15-17 | 14-15 | 17-18 | Окончательное определение конфигурации технических средств. | 1 | 1 |
| 16 | Форма представления вх. и вых. данных определена | 16-19 | 15-16 | 19-20 | Разработка структуры программы | 1 | 4 |
| 17 | Конфигурация технических средств определена | 17-18 | 15-17 | 18-20 | Разработка плана мероприятий по разработке и внедрению программы. | 2 | 1 |
| 18 | План мероприятий по разр. и внедр. прогр. разработан | 18-20 | 17-18 | 20-21 | Разработка пояснительной записки. | 1 | 3 |
| 19 | Структура программы | 19-20 | 16-19 | 20-21 | Согласование и утверждение ТП | 2 | 2 |
| 20 | ТП утвержден и согласован | 20-21 | 18-20<br>19-20 | 21-23 | Программирование и отладка программы. | 1 | 66 |
| | | 20-22 | 18-20<br>19-20 | 22-24 | Разработка программных документов в соответствии с требованиями ГОСТ | 2 | 14 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 19.101-77. | | |
| 21 | Программирование и отладка программы осуществлены | 21-23 | 20-21 | 23-24 | Изготовление программы-оригинала. | 1 | 38 |
| 22 | Программные документы разработаны | 22-24 | 20-23 | 24-25 | Разработка, согласование и утверждение порядка и методики испытаний | 2 | 5 |
| 23 | Программа - оригинал изготовлена | 23-24 | 21-23 | 24-25 | Проверка работоспособности на реальных исходных данных | 2 | 9 |
| 24 | Проверка работоспособность на реальных исходных данных проведена. Методика испытаний утверждена | 24-25 | 22-24<br>23-24 | 25-26 | Корректировка программы и программной документации по результатам испытаний | 2 | 14 |
| 25 | Корректировка программы и программной документации по результатам испытаний проведена | 25-26 | 24-25 | 26-27 | Подготовка и передача программы и программной документации для сопровождения и изготовления | 2 | 18 |
| 26 | Документация для сопровождения и изготовления завершена | 26-27 | 25-26 | - | Сдача в эксплуатацию | 1 | 15 |
| 27 | ПС сдано в эксплуатацию | | | | | | |

Сетевой график планирования работ по разработке ПС (до оптимизации) представлен на рисунке 5.1.

Для построения сетевого графика необходимо определить следующие параметры каждого события:

1) $t_{pj}$ – ранний из возможных сроков наступления события j, $t_{pj} = (t_{pi} + t_{ij})_{max}$;

2) $t_{ij}$ – время работы от события i до события j, взяты из таблицы 5.8;

3) $t_{nj}$ – поздний из допустимых сроков наступления j, $t_{nj} = (t_{nj} + t_{ij})_{min}$;

4) $t_{pi}$ – ранний из возможных сроков наступления события i;

5) $P_j$ – резерв времени наступления события j, $R_j = t_{nj} - t_{pj}$;

6) $P_{пij}$ – полный резерв времени работы i-j, $R_{пij}= t_{пj} - t_{pi}- t_{ij}$;

7) $P_{cij}$ – свободный резерв времени работы i-j, $R_{cij}= t_{pj} - t_{pi}- t_{ij}$.

Параметры сетевого графика до оптимизации занесены в таблицу 5.9.

Таблица 5.9 - Параметры сетевого графика (до оптимизации)

| Начал.событие (i) | Конечн. событие (j) | Времяработы ($t_{ij}$) | Ранний срок ($t_{pi}$) | Поздний срок ($t_{pj}$) | Ранний срок ($t_{пj}$) | Резерв времени ($P_j$) | Полный резерв ($P_{пij}$) | Свобод.резерв ($P_{cij}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 3 | 1 | 6 | 7 | 8 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 4 | 2 | 6 | 8 | 10 | 2 | 2 | 0 |
| 2 | 5 | 2 | 6 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 6 | 1 | 7 | 8 | 9 | 1 | 1 | 0 |
| 4 | 9 | 2 | 8 | 12 | 12 | 0 | 2 | 2 |
| 5 | 8 | 3 | 8 | 11 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 7 | 2 | 8 | 10 | 11 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 9 | 1 | 10 | 12 | 12 | 0 | 1 | 1 |
| 8 | 9 | 1 | 11 | 12 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 10 | 1 | 12 | 13 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 11 | 5 | 13 | 18 | 18 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 12 | 1 | 18 | 19 | 19 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 14 | 3 | 18 | 28 | 28 | 0 | 7 | 7 |
| 12 | 13 | 7 | 19 | 26 | 26 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 14 | 2 | 26 | 28 | 28 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 15 | 3 | 28 | 31 | 31 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 16 | 2 | 31 | 33 | 33 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 17 | 1 | 31 | 32 | 35 | 3 | 3 | 0 |
| 16 | 19 | 4 | 33 | 37 | 37 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 18 | 1 | 32 | 33 | 36 | 3 | 3 | 0 |
| 18 | 20 | 3 | 33 | 39 | 39 | 0 | 3 | 3 |
| 19 | 20 | 2 | 37 | 39 | 39 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 21 | 66 | 39 | 105 | 105 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 22 | 14 | 39 | 53 | 147 | 94 | 94 | 0 |
| 21 | 23 | 38 | 105 | 143 | 143 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 24 | 5 | 53 | 152 | 152 | 0 | 94 | 94 |
| 23 | 24 | 9 | 143 | 152 | 152 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 25 | 14 | 152 | 166 | 166 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 26 | 18 | 166 | 184 | 184 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 27 | 15 | 184 | 199 | 199 | 0 | 0 | 0 |

На рисунке 5.1 изображён сетевой график выполнения работ по разработке ПС (до оптимизации).

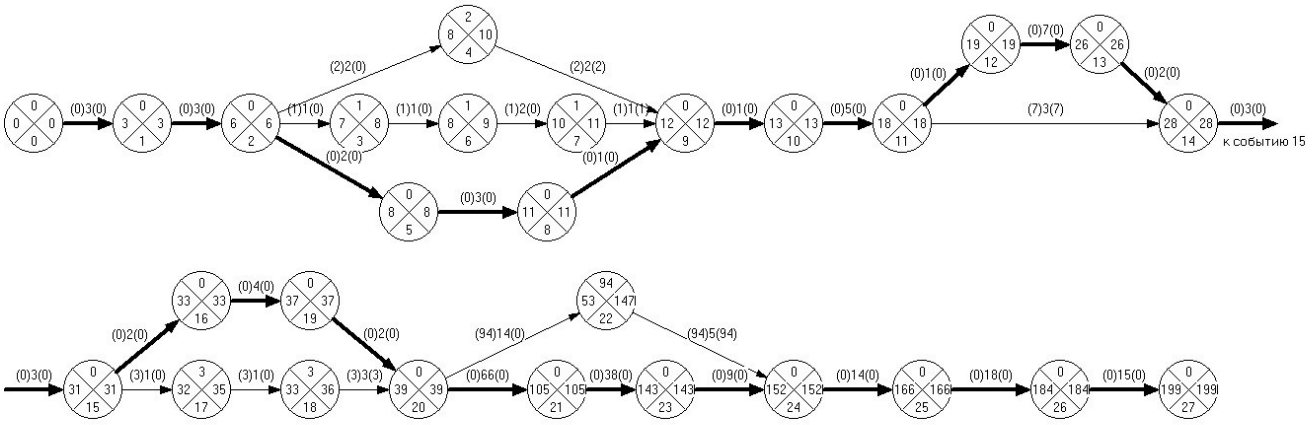



Рисунок 5.1 – Сетевой график планирования работ по разработке ПС (до оптимизации)

В соответствии с расчетом длина критического пути составила – 199 дней. После расчета сетевого графика произведена его оптимизация за счет перераспределения исполнителей с работ подкритического пути, имеющего минимальные резервы времени, на работы критического пути, которые могут выполняться работниками тех же специальностей.

Сначала определим количество исполнителей, которое можно перевести на работу критического пути, затем продолжительность (новую) работ критического пути, на которые переведены исполнители. Для этого рассчитаем коэффициент напряженности на подкритических путях, который позволяет определить степень трудности выполнения в срок каждой группы работ некритического пути.

Коэффициент напряженности пути определяется по формуле:

$$k_{Hij} = \frac{(T_{L\max} - T'_{L}кр)}{(T_{L}кр - T'_{L}кр)} \qquad (5.10)$$

где $T'_{Lкр}$ - величина отрезка пути, совпадающая с критическим путем;

$T_{Lкр}$ - длина критического пути;

$T_{Lмах}$ - протяженность максимального пути.

Коэффициенты напряжённости пути на отрезках 2-9, 11-14,15-20 и 20-24:

$$k_{H2-9} = \frac{(1+1+2+1)-0}{(2+3+1)-0} = \frac{5}{6} = 0{,}83;$$

$$k_{H11-14} = \frac{3-0}{(1+7+2)-0} = \frac{3}{10} = 0{,}3;$$

$$k_{H15-20} = \frac{(1+1+3)-0}{(2+4+2)-0} = \frac{5}{8} = 0{,}63;$$

$$k_{H20-24} = \frac{(14+5)-0}{(66+38+9)-0} = \frac{19}{113} = 0{,}17.$$

Наименьший коэффициент напряжённости на отрезке 20-24. Следовательно, напряженным участком работ является путь, проходящий через работы 20-21, 21-23, 23-24. Работа 22-24 имеет свободный резерв времени, следовательно, с этой работы можно перевести часть исполнителей на однородную работу (20-21).

Трудоемкость работ определяется по формуле:

$$T_{цij} = W_{pij} \cdot T_{ij} \qquad (5.11)$$

где $W_{pij}$ - количество исполнителей,

$T_{ij}$ - продолжительность работы в днях.

$$T_{ц(22-24)} = W_{р(22-24)} \cdot T_{(22-24)} = 2 \cdot 5 = 10 \text{ чел.-дн.}$$

$$T_{ц(20-21)} = W_{р(20-21)} \cdot T_{(20-21)} = 1 \cdot 66 = 66 \text{ чел.-дн.}$$

Коэффициент напряжённости пути на отрезке 20-24 равен 0,17, следовательно, часть исполнителей, которых можно перевести с данного пути, равна 1 - 0,1 = 0,83. Так как на участке 22-24 занято 2 человека, то перевести с него можно не более $0{,}83 \cdot 2 = 1{,}66$ человек.

Если одного исполнителя перевести с работы 22-24 на работу 20-21, то продолжительность работы 22-24 увеличится на (х) дней:

$$W_{p(22-24)} - 1 = \frac{T_{ц(22-24)}}{T_{(22-24)} + x},$$

$$x = \frac{T_{ц(22-24)}}{W_{p(22-24)} - 1} - T_{(22-24)},$$

$$x = \frac{10}{2-1} - 5 = 5дн.$$

Тогда новая продолжительность работы 20-21:

$$T_{(20-21)} = \frac{T_{ц(20-21)}}{W_{p(20-21)} + 1} = \frac{66}{1+1} = 33дн.$$

Новая продолжительность работы 13-15:

$$T_{(22-24)} = T_{(22-24)} + x = 5 + 5 = 10дн.$$

Сетевой график планирования работ по разработке ПС (после оптимизации) представлен на рисунке 5.2.

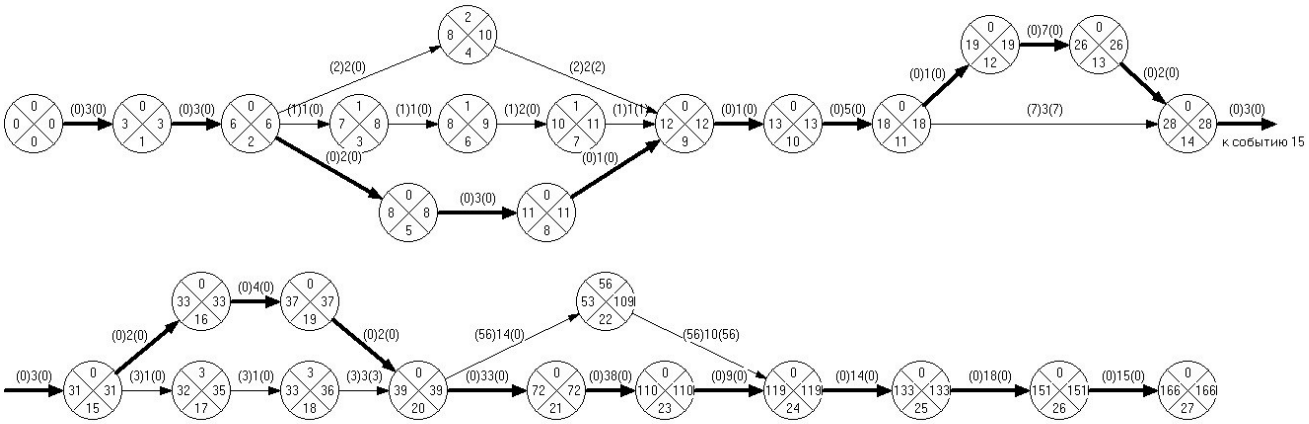



Рисунок 5.2 – Сетевой график планирования работ по разработке ПС (после оптимизации)

Рассчитанные параметры сетевого графика после оптимизации приведены в таблице 5.10.

Таблица 5.10- Параметры сетевого графика (после оптимизации)

| Начал.событие (i) | Конечн. событие (j) | Времяработы ($t_{ij}$) | Ранний срок ($t_{pi}$) | Поздний срок ($t_{pj}$) | Ранний срок ($t_{nj}$) | Резерв времени ($P_j$) | Полный резерв ($P_{nij}$) | Свобод.резерв ($P_{cij}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 3 | 1 | 6 | 7 | 8 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 4 | 2 | 6 | 8 | 10 | 2 | 2 | 0 |
| 2 | 5 | 2 | 6 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 6 | 1 | 7 | 8 | 9 | 1 | 1 | 0 |
| 4 | 9 | 2 | 8 | 12 | 12 | 0 | 2 | 2 |
| 5 | 8 | 3 | 8 | 11 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 7 | 2 | 8 | 10 | 11 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 9 | 1 | 10 | 12 | 12 | 0 | 1 | 1 |
| 8 | 9 | 1 | 11 | 12 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 10 | 1 | 12 | 13 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 11 | 5 | 13 | 18 | 18 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 12 | 1 | 18 | 19 | 19 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 14 | 3 | 18 | 28 | 28 | 0 | 7 | 7 |
| 12 | 13 | 7 | 19 | 26 | 26 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 14 | 2 | 26 | 28 | 28 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 15 | 3 | 28 | 31 | 31 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 16 | 2 | 31 | 33 | 33 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 17 | 1 | 31 | 32 | 35 | 3 | 3 | 0 |
| 16 | 19 | 4 | 33 | 37 | 37 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 18 | 1 | 32 | 33 | 36 | 3 | 3 | 0 |
| 18 | 20 | 3 | 33 | 39 | 39 | 0 | 3 | 3 |
| 19 | 20 | 2 | 37 | 39 | 39 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 21 | 33 | 39 | 72 | 72 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 22 | 14 | 39 | 53 | 109 | 56 | 56 | 0 |
| 21 | 23 | 38 | 72 | 110 | 110 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 24 | 10 | 53 | 119 | 119 | 0 | 56 | 56 |
| 23 | 24 | 9 | 110 | 119 | 119 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 25 | 14 | 119 | 133 | 133 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 26 | 18 | 133 | 151 | 151 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 27 | 15 | 151 | 166 | 166 | 0 | 0 | 0 |

Новая продолжительность критического пути составила 166 дней. Следовательно, в результате оптимизации удалось сократить продолжительность работ на 33 дня, т.е. на 16,6%.

### 5.2 Расчет затрат на разработку

Затраты на разработку ПС определены на базе расчетной трудоемкости разработки и включают:

- заработную плату работников $C_{ЗАР}$;
- отчисления во внебюджетные фонды $C_{ВФ}$;
- стоимость материалов $C_{М}$;
- амортизацию оборудования $C_{АМ}$;
- накладные расходы $C_{НР}$.

В таблице 5.11 приведена информация о заработной плате исполнителей и количестве рабочих дней каждого из них. На основе этой информации рассчитана основная заработная плата исполнителей ($C_{ОСН}$) за разработку данного ПС.

Таблица 5.11 – Заработная плата исполнителей

| Исполнитель | Тариф/оклад за месяц, руб. | Количество рабочих дней, дни | Заработная плата за разработку, руб. |
|---|---|---|---|
| Программист | 13500 | 132 | 89100 |
| Системный аналитик | 13500 | 12 | 8100 |
| Руководитель | 16000 | 64 | 51200 |
| $C_{ОСН}$ | 148400 | | |

$C_{ДОП}$ – дополнительная заработная плата составляет 12% от основной, т.е.

$$C_{ДОП} = 148400 \cdot 0,12 = 17808 \text{ рублей.}$$

$C_{ЗАР}$ – заработная плата, $C_{ЗАР} = C_{ОСН} + C_{ДОП}$, т.е.

$$C_{ЗАР} = 148400 + 17808 = 166208 \text{ рублей.}$$

$C_{ВФ}$ – отчисления во внебюджетные фонды составляют 30,2% (с 1 января 2012 года) от затрат на зарплату исполнителей, т.е.

$$C_{ВФ} = 166208 \cdot 0,302 = 50195 \text{ рубля.}$$

Затраты по стоимости материалов приведены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 - Стоимость материалов

| Наименование товара | Ед. изм. | Цена за ед. изм., руб | Количество | Стоимость, руб. |
|---|---|---|---|---|
| Картридж для принтера | Шт. | 700 | 1 | 700,00 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Бумага | Пачка | 160 | 2 | 320,00 |
| CD – диск | Шт. | 10 | 2 | 20,00 |
| Канцтовары | – | | – | 260,00 |
| ИТОГО: $С_М$ | | | | 1300,00 |

Накладные расходы $С_{НР}$, связанные с организацией работ и управлением определяются по формуле:

$$С_{НР} = С_{ЗАР} \cdot К_{НР} \quad (5.12)$$

где $К_{НР}$ – коэффициент учета накладных расходов ($К_{НР}$ =0,8).

$$С_{НР} = 166208 \cdot 0,8 = 132966 \text{ рублей.}$$

Стоимость амортизации определяется по формуле:

$$С_{АМ} = Т_{РД} \cdot \sum Т_i \cdot N \quad (5.13)$$

где $Т_i$– общее время работы каждого сотрудника;

$N$ – количество сотрудников;

$Т_{РД}$ –стоимость рабочего дня оборудования (принимаем 20 рублей).

$$С_{АМ} = 20 \cdot (132 + 12 + 64) \cdot 3 = 12480 \text{ рублей.}$$

Результаты расчета себестоимости разработки сведены в таблицу 5.13.

Таблица 5.13 - Себестоимость разработки

| Статья расходов | Обозначение | Сумма расходов, руб. |
|---|---|---|
| Зарплата исполнителей | $С_{ЗАР}$ | 166208,00 |
| Отчисления во внебюджетные фонды | $С_{ВФ}$ | 50195,00 |
| Стоимость материалов | $С_М$ | 1300,00 |
| Накладные расходы | $С_{НР}$ | 132966,00 |
| Амортизация оборудования | $С_{АМ}$ | 12480,00 |
| ИТОГО: | $С_{РАЗР}$ | 363149,00 |

### 5.3 Экономическая эффективность проекта

Определение цены заключается в начислении наценки на издержки:

$$Ц_{разр} = 1,5 \cdot С_{разр} \quad (5.14)$$

где 1,5 – коэффициент наценки на издержки.

$$Ц_{разр} = 1,5 \cdot 363149 = 544724 \text{ рубля.}$$

Годовой экономически эффект рассчитывается по формуле:

$$Э = \Delta С - Е_н \cdot К_{доп} \quad (5.15)$$

где $\Delta С$ – годовая экономия текущих затрат;

$Е_н$ – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности капиталовложений, $Е_н = 0,15$;

$К_{доп}$ - дополнительные капиталовложения при внедрении проекта.

Годовая экономия текущих затрат рассчитывается по формуле:

$$\Delta С = С_{баз} - С_{проек} \quad (5.16)$$

где $С_{баз}$ – текущие затраты по базовому варианту;

$С_{проек}$ – текущие затраты по проектному варианту.

Текущие затраты по базовому варианту рассчитываются по формуле:

$$С_{баз} = С_{осн} + С_{доп} + С_{вф} + С_{нр} + С_м + С_{аренд} + С_{аморт} \quad (5.17)$$

где $С_{аренд}$ – арендная плата;

$С_{аморт}$ – амортизационные отчисления.

По базовому варианту работу выполняют 4 человека (системный администратор, два программиста, специалист по работе с программой). Оклад работников13500 рублей в месяц, следовательно, годовой фонд заработной платы составит$(13500 + 13500 \cdot 0,12) \cdot 12 \cdot 4 = 725760$ рублей.

$$С_{вф} = 725760 \cdot 0,302 = 219180 \text{ рублей.}$$

$$С_{нр} = 725760 \cdot 0,8 = 580608 \text{ рублей.}$$

Затраты на материалы– 5 пачек бумаги (160 рублей) и 2 картриджа для принтера (700 рублей):

$$С_м = 5 \cdot 160 + 2 \cdot 700 = 2200 \text{ рублей.}$$

Арендная плата ($C_{аренд}$) рассчитана из расчета 6 м$^2$ на человека(стоимость 1 м$^2$ – 500 рублей в месяц) и составляет 144000 рублей в год.

Амортизационные начисления рассчитываются по формуле:

$$C_{аморт} = \frac{N_п \cdot Ц_{комп} + Ц_{при}}{T_{сл}} \quad (5.18)$$

где $N_п$ – кол-во компьютеров;

$Ц_{комп}$– цена компьютера, руб.;

$Ц_{при}$– цена принтера, руб.;

$T_{сл}$– срок службы оборудования, по нормативам 5 лет.

$$C_{аморт} = (4 \cdot 17000 + 5000)/5 = 14600 \text{ руб.}$$

Текущие затраты по базовому варианту в соответствии с формулой (5.19) составили:

$C_{баз}$= 725760 + 219180 + 580608 + 2200+ 144000 + 14600 = 1686348 рубля.

Использование разработанного программного средства позволило значительно снизить трудоемкость работ. По проектному варианту работу выполняют 2 человека. Оклад работника 13500рублей, следовательно, годовой фонд заработной платы составит(13500 + 13500 · 0,12) · 12 · 2 = 362880 рублей**.**

$$C_{вф} = 362880 \cdot 0{,}302 = 109590 \text{ рублей.}$$

$$H_р = 362880 \cdot 0{,}8 = 290304 \text{ рублей.}$$

Затраты на материалы – 3 пачек бумаги (160 рублей) и 1 картридж для принтера (700 рублей):

$$C_м = 3 \cdot 160 + 1 \cdot 700 = 1180 \text{ рублей.}$$

Арендная плата ($C_{аренд}$) рассчитана из расчета 6 м$^2$ на человека (стоимость 1 м$^2$ –500 рублей в месяц) и составляет 72000 рублей в год.

Амортизационные начисления составляют:

$$C_{аморт} = (2 * 17000 + 5000)/5 = 7800 \text{ рублей.}$$

Себестоимость по проектному варианту составила:

$C_{пр}$ = 362880+109590+290304 + 1180 + 72000 + 7800 = 843754 рубль.

Годовая экономия текущих затрат:

$$\Delta C=1686348 – 843754 = 842594 \text{ рубль.}$$

Дополнительные капитальные вложения определены по формуле:

$$K_{доп}=Ц_{разр}+Ц_{рес} \quad (5.20)$$

где $Ц_{разр}$ – стоимость программного продукта, руб.;

$Ц_{рес}$ – стоимость внедрения, отсутствует, руб.;

$$K_{доп}= 544724 \text{ рублей.}$$

Годовой экономический эффект:

$$Э = 842594– 0,15 \cdot 544724= 760885 \text{руб.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений определен по формуле:

$$Т_{ок} = К_{доп}/\Delta П,$$

$$\Delta П = \Delta С = 842594 \text{ рубль.}$$

$$\Delta Т_{ок} = 544724 / 842594=0,65 \text{ года.}$$

Основные экономические показатели проекта, полученные в результате расчетов, приведены в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Основные экономические показатели проекта

| Наименование показателей | Единица измерения | Варианты | | Проектный вариант в % к базовому |
|---|---|---|---|---|
| | | Базовый | Проектный | |
| Трудоемкость разработки | чел.-дни | - | 191 | |
| Продолжительность разработки | кал.дни | - | 166 | |
| Затраты на разработку | руб. | - | 474840 | |
| Количество работников | чел. | 4 | 2 | 50% |
| Годовые текущие затраты | руб. | 1686348 | 843754 | 50% |
| Годовая экономия текущих затрат | руб. | - | 842594 | |
| Годовой экономический эффект | руб. | - | 760885 | |
| Срок окупаемости | год | - | 0,65 | |

На основе рассчитанных данных можно сделать заключение о том, что внедрение разработанного ПС целесообразно, т.к. существенно снижает затраты на обработку информации, повышает его экономическую

эффективность от ее применения. Помимо этого, происходит значительная экономия времени и человеческих ресурсов.

## Заключение

В ходе выполнения дипломной работы были рассмотрены вопросы, связанные с анализом синергетической системы, реализующей процессный подход, исследование ее адекватности и разработка компьютерной модели. Для достижения целей работы были решены следующие задачи:

1) определение вида закона распределения случайной величины в синергетической системе возможна при применении критерия согласия Пирсона и Колмогорова-Смирнова;
2) при параметрической идентификации эмпирического закона распределения необходимо применение фильтров, в нашем случае фильтра четвертого порядка;
3) декомпозиция функции распределения Парето весовой аддитивной композицией функций распределения простейших потоков с индивидуальными параметрами – возможна;
4) увеличение количества слагаемых в такой декомпозиции к улучшению качества модели аппроксимации не ведет;
5) при нахождении параметров декомпозиции необходимо использовать сегментальный критерий качества аппроксимации;
6) для каждых конкретных значений параметров закона распределения Парето ($a$ и $b$) существует единственная декомпозиция с вполне конкретными параметрами простейших потоков;
7) разработана компьютерная модель синергетической системы.

Это позволяет сделать вывод, что все цели дипломной работы были достигнуты в ходе выполнения.

## Список использованных источников

Елисеева И.И., Курышева С.В., Костеева Т.В. Эконометрика: учебник / под редакцией члена-корреспондента Российской Академии наук И.И. Елисеевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Финансы и статистика», 2005. – 576 с.: ил. ISBN 5-279-02786-3.

Вентцель Е.С. Теория вероятности: учебник / под редакцией С.А. Широкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Государственное издательство физико–математической литературы, 1962. – 564 с.

Шелухин О.И. Моделирование информационных систем: учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 516 с.: ил. ISBN 978-5-9912-0193-3.

Левин Б.Р., Шварц В. Вероятностные модели и методы в системах связи и управления. – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с., ил. – (Статическая теория связи. Вып. 24).

Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. – М.: Радиотехника, 2003. – 286 с.

Шелухин О.И., Осин А.В., Смольский С.М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. – М.: Физматлит, 2008. – 368с.

Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Моделирование информационных систем. Учебное пособие под ред. О.И. Шелухина. – М.: Сайенс-Пресс, 2005. – 368 с.

Г.Л. Коткин, В.С Черкасский. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием MATLAB: Учеб. пособие / Новосиб. ун-т. Новосибирск, 2001. - 173 с.

П.А. Волкова, А.Б. Шипунов Статистическая обработка данных в учебно-исследовательских работах. – М.: Экопресс, 2008. – 60 с.

А.П. Карпенко, А.С. Семенихин, Е.В. Митина Популяционные методы аппроксимации множества Парето в задаче многокритериальной

оптимизации. Обзор. Электронное научное издание «Наука и образование». – МГТУ им. Баумана, 2012. – 36 с.

Г.А. Урьев Исследование фрактальных свойств потоков трафика реального времени и оценка их влияния на характеристики обслуживания телекоммуникационных систем. Автореферат. – М. – 2007. – 37 с.

Д.А. Лукьянцев Повышение эффективности управления и обработки трафика Интернет // Наукоемкие технологии. – М.: Радиотехника, 2006. – №11-12. – 94 с.

К.Е. Румянцев, Д.А. Лукьянцев Методы повышения эффективности управления и обработки трафика Интернет с учетом самоподобности трафика // Материалы 18-й межвузовской НТК. Наука-сервису. – М.: ГОУВПО МГУС, 2006. – 76 с.

О.И. Шелухин, А.В. Куюн, Д.А. Лукьянцев Особенности влияния фрактальности трафика на построение очередей телекоммуникационных сетей // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – М.: Радиотехника, 2006. – Т.2, №1. – 53 с.

О.И. Шелухин, Д.А. Лукьянцев Результаты экспериментальных исследований самоподобности IP трафика в корпоративной сети спутниковой связи // Наука сервису. 10–я международная Научно- практическая конференция. Сборник материалов круглого стола «Техника и технологии сервиса». – М.: ГОУВПО МГУС, 2006. – Ч.1. – С.177-182.

Х. Беврани, К. Аничкин Оценка параметров распределений с тяжелыми хвостами с помощью эмпирического распределения. - Иран, Табриз; Россия, Москва. – 2005. – 501 с.