

**УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ  
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

На правах рукописи

УДК 621.7.068.621.315.2

**Чанышев Владимир Айратович**

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЛИНЕЙНЫХ ТРАКТОВ  
ЦИФРОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ**

Специальность 05.12.02. – Системы и устройства передачи информации по каналам связи

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Ташкент 2002

Работа выполнена на кафедре «Телекоммуникационные системы передачи» Ташкентского университета информационных технологий.

**Научный руководитель:**

к.т.н., доц.

Берганов И. Р.

**Официальные оппоненты:**

Академик АН Республики Узбекистан,  
д.ф.-м.н, проф.

Раджабов Т.Д.

к.т.н.

A A/2393

4188 Чанышев В.А.

Ведущая организаци

НПО АН Республики

Повышение кач-ва  
линейных трактов....

Б/У

Защита состоится  
специализированн  
университете инф  
700084, г. Ташкен

С диссертацией  
университета.

Отзывы на авто  
печатью, просьба  
секретаря специа

Автореферат разо

Ученый секретарь  
специализирова  
К.001.25.01, к.т.н

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Основу цифровой сети связи Узбекистана составляют системы передачи SDH (синхронные транспортные модули STM-1 и STM-4), работающие по волоконно-оптическим и радиорелейным линиям. На местных и зонавых (региональных) участках сети используются системы передачи PDH (преимущественно 30-ти канальные).

В ближайшие годы намечается строительство волоконно-оптических «колец» и радиорелейных магистралей между областными центрами республики, большими городами и узловыми населенными пунктами. В целях обеспечения необходимой надежности и живучести сети волоконно-оптические линии связи будут дублироваться цифровыми радиорелейными линиями. С ростом числа нового телекоммуникационного оборудования и увеличения потребностей в новых услугах (IP-телефония, Интернет, конференцсвязь и т.д.) проблема предоставления услуг связи с требуемым уровнем качества является актуальной. В этой связи Международный союз электросвязи (МСЭ-Т) разработал и продолжает дополнять и разрабатывать требования и нормы по качественным показателям для телекоммуникационных систем, которым они должны удовлетворять, как при производстве, так и в период их эксплуатации.

Несмотря на высокую надежность и качество, заложенные в процессе производства телекоммуникационного оборудования, имеет место ухудшение их качественных показателей при их эксплуатации. Причинами ухудшения качественных показателей каналов и трактов цифровых волоконно-оптических систем передачи могут быть, например:

- нестабильность питающих напряжений,
- проскальзывание в результате сбоев тактовой сетевой синхронизации,
- фазовый джиттер информационных битов и т.д.

Таким образом, проблема поддержания качественного состояния линейных трактов цифровых систем передачи информации на уровне рекомендуемом МСЭ-Т и своевременное принятие соответствующих технических мер в случае их выхода за установленные границы норм, становится первоочередной на современном этапе развития инфокоммуникационных услуг на национальной сети связи.

**Актуальность темы.** В соответствии с мировой тенденцией цифровизации и оптиковизации высокоскоростных сетей связи рядом зарубежных авторов проведены исследования качественных показателей систем передачи. Как показал анализ результатов этих исследований, несмотря на предпринимаемые меры по повышению качества передачи по цифровым каналам и трактам, все же в силу действия ряда дестабилизирующих факторов, в них возникают ошибки. Так как в настоящее время передача цифровой информации осуществляется на скоростях в десятки Гбит/с и выше, то к качеству передачи, в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т, предъявляются весьма жесткие требования. Поэтому выдвигается научно-практический интерес

исследования качественного состояния линейных трактов цифровых волоконно-оптических систем связи, эксплуатируемых на национальной сети.

В этой связи актуальной является задача статистического исследования и оценки качественного состояния каналов и трактов цифровых систем передачи, с целью разработки соответствующих мер повышения и поддержания их качественного состояния на проектном уровне, отвечающем рекомендациям и нормам МСЭ-Т.

**Цель и задачи работы.** Целью работы является разработка оперативного статистического метода контроля и оценки качественного состояния каналов и линейных трактов цифровых оптических систем связи, который позволит повысить их качественное состояние.

Для достижения указанной цели в диссертационной работе поставлены и решены следующие задачи:

- определены квоты по нормам на качественные показатели, рекомендуемые МСЭ-Т, приходящиеся на национальный участок сети связи;
- исследовано качественное состояние типовых линейных трактов цифровых волоконно-оптических систем связи (ЦВОСС),
- установлена закономерность возникновения ошибок в трактах ЦВОСС,
- установлена зависимость качества передачи цифровых сигналов от нестабильности источника электропитания,
- разработаны подходы к методике определения качественного состояния трактов ЦВОСС на основе статистического контроля методом последовательного анализа для своевременного принятия соответствующих технических мер по повышению качества линейных трактов,
- разработаны алгоритм и программа автоматизированной оценки качественного состояния цифровых каналов и трактов,
- разработаны рекомендации по применению на узлах связи источников бесперебойного питания с дельта-преобразованием.

**Методы исследования.** При экспериментальных исследованиях использована методика статистической оценки качественного состояния линейных трактов цифровых оптических систем связи, рекомендованная Международным союзом электросвязи. Результаты исследований обработаны методами теории вероятностей и математической статистики. С целью повышения эффективности контроля и оценки качественного состояния каналов и трактов использован метод статистического последовательного анализа.

**На защиту выносятся:**

- Результаты статистических исследований качества линейных трактов цифровых волоконно-оптических систем связи.

- Алгоритм и программа автоматизированного статистического контроля и оценки качественного состояния цифровых трактов передачи.
- Результаты оценки технико-экономической эффективности контроля качественной готовности цифровых трактов передачи методом последовательного анализа.

**Научная новизна** работы состоит в следующем:

1. Установлена закономерность появления ошибок в линейных трактах цифровых волоконно-оптических систем связи, что имеет практическое значение для статистической оценки их качественного состояния.
2. Разработаны и практически реализованы алгоритм и программа статистического контроля качества цифровых трактов передачи на основе последовательного анализа А.Вальда.
3. Экспериментально доказана степень влияния нестабильности источника электропитания на качество передачи цифровых сигналов.
4. Обоснована эффективность использования источников бесперебойного электропитания с дельта-преобразованием на узлах связи.

**Практическая ценность.** Результаты экспериментальных исследований позволили разработать алгоритм и программу статистического контроля и оценки качественного состояния каналов и трактов методом последовательного анализа. Применение этого метода позволяет своевременно обнаруживать тенденцию к ухудшению качества цифровых каналов и трактов передачи и принимать соответствующие меры по восстановлению проектного уровня качества, что сократит длительность периодов эксплуатации каналов и трактов, находящихся в состоянии, когда их качественные параметры вышли за установленные нормы.

Предложенный и реализованный алгоритм статистического контроля и оценки качества цифровых трактов передачи на основе последовательного анализа может быть использован при внедрении гибкой системы тарифной политики для операторов, предоставляющих в аренду каналы и тракты с гарантированным уровнем качества.

**Внедрение результатов работы.** Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы использованы при эксплуатации каналов и трактов ЦВОСС на Ташкентской телефонно-телеграфной станции и в учебном процессе Ташкентского университета информационных технологий (ТУИТ).

**Апробация работы.** Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы докладывались на Первой международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов (Минск, 1999), на V Республиканской научной конференции, организованной ГКНТ и ВАК Республики Узбекистан (Ташкент, 2001), на научно-технических конференциях ТЭИС (Ташкент,

1999÷2002) и научных семинарах Ташкентского государственного технического университета, Акционерной компании «Узбектелеком» и научно-производственного объединения «Академприбор».

**Публикации.** Основные результаты диссертационной работы опубликованы в научных журналах – 2 статьи, международных сборниках (на английском языке) – 2 статьи, в сборнике научных докладов V Республиканской научной конференции, организованной ГКНТ и ВАК Республики Узбекистан (на узбекском языке) – 1 статья, в сборнике научных статей и докладов ТЭИС – 1 статья.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Основная часть содержит 125 страниц печатного текста, 37 рисунков и 19 таблиц. Приложение содержит 7 страниц. Список литературы включает 57 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность работы, указаны цели исследований, определена научная новизна. Представлены сведения об апробациях и публикациях основных положений диссертации, о реализации и внедрении результатов исследований, приведены основные положения выносимые на защиту, указаны объем и структура работы.

В первой главе проводится обзор и анализ методов и результатов исследований качества цифровых трактов передачи информации.

Определяются требования к качеству современных типовых цифровых трактов передачи национальной сети связи на основе Рекомендаций Международного союза электросвязи G.826 и M.2100. По указанным рекомендациям МСЭ-Т произведен пересчет норм, которые соответствуют протяженности трактов и скоростям потоков цифровых систем передачи, эксплуатируемых на действующей сети связи Узбекистана.

Приведены результаты экспериментальных исследований качественного состояния 2,048 Мб/с (поток E1) цифровых потоков (табл.1), которые были выбраны исходя из того, что они в настоящее время получили наиболее широкое использование на цифровой сети связи. Это обстоятельство связано с развитием технологии мультиплексирования и перехода от технологии PDH к технологии SDH. Технология SDH дает возможность прямого доступа к каналу E1 (2,048 Мб/с), который является базовым, используемым в телефонии и передаче данных. Исследования проводились согласно методике, разработанной на основе Рекомендаций МСЭ-Т, которая распространяется на тракты первичной магистральной сети, в том числе на простые и составные цифровые тракты со скоростью передачи 2.048 Мбит/с, организованные по ЦВОСС.

Таблица 1

Результаты анализа 2.048 Мб/с потоков на соответствие нормам МСЭ-Т

№ трак-та	L, км	Количество событий (за период 150ч)							
		ES (эксп)	ES (МСЭ-Т)			SES (эксп)	SES (МСЭ-Т)		
		S	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	P	S	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	P
1	100	-	66	103	тсн	-	0	8	тсн
2	250	8	72	110	тсн	11	0	9	тнсн
3	250	1	72	110	тсн	-	0	9	тсн
4	300	39	82	123	тсн	-	1	10	тсн
5	300	54	82	123	тсн	-	1	10	тсн
6	500	2	99	143	тсн	-	1	11	тсн
7	500	117	99	143	тусн	2	1	11	тусн
8	500	5	99	143	тсн	7	1	11	тусн
9	750	179	127	176	тнсн	38	2	13	тнсн
10	750	2	127	176	тсн	1	2	13	тсн
11	150	15	200	260	тсн	8	5	18	тусн

Анализ полученных результатов S для среднего допустимого числа секунд с ошибками (ES) и секунд, пораженных ошибками (SES), с пороговыми значениями S<sub>1</sub> и S<sub>2</sub>, проводится согласно условиям:

- $S \leq S_1$  - тракт соответствует эталонной норме (тсн),  
 $S_1 < S < S_2$  - тракт условно соответствует эталонной норме (тусн), (1)  
 $S \geq S_2$  - тракт не соответствует эталонной норме (тнсн).

Объем измерений определялся по формулам и таблицам математической статистики, с доверительной вероятностью  $\alpha = 0.95$  и с относительной ошибкой  $\delta = 0.11$ . Статистические данные двухмегабитных трактов (табл.1) проанализированы и сравнены с эталонными нормами на параметры ошибок в цифровых трактах различной протяженности с соответствующей скоростью передачи. В качестве примера на рис.1 приведено типичное графическое представление экспериментального распределения потока ошибок в 4<sup>ом</sup> тракте и теоретического пуассоновского распределения. Результаты обработки данных методами математической статистики показали, что поток секунд с ошибками можно аппроксимировать законом Пуассона с вероятностью близкой к  $\gamma = 0.80$  (табл.2) и соответствующими параметрами  $\Theta$ .

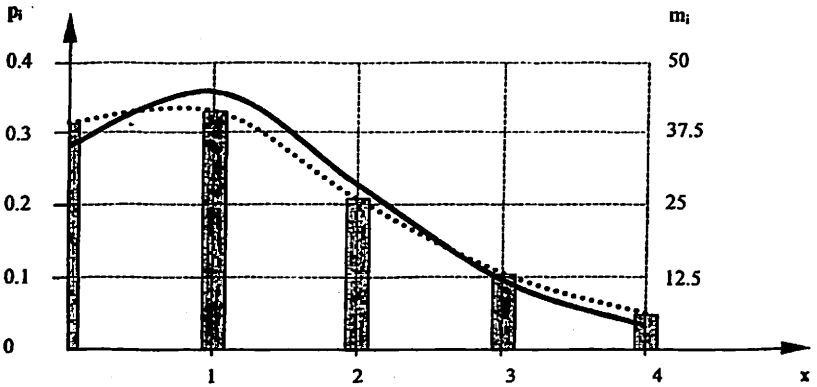


Рис.1 Типичное графическое представление экспериментального распределения потока ошибок (.....) в тракте E1 и теоретического пуассоновского распределения (—) при  $\Theta=1.26$ .

Таблица 2

Результаты расчетов согласия экспериментального и теоретического распределения потока секунд с ошибками

№ тракта	Объем измерения, в, час	Количество секунд с ошибками, $\Sigma(x)$	Число 5 <sup>м</sup> часовых интервалов	Параметр закона Пуассона, $\Theta$	Вероятность согласия, $\gamma$
4	624	157	125	1.26	0.78
5	454	136	91	1.49	0.80
7	210	174	42	4.14	0.76
8	150	12	30	0.40	0.92
11	150	23	30	0.77	0.85

Сформулированы основные направления и пути решения проблемы поддержания качественных показателей цифровых трактов передачи информации на проектном уровне:

- определение наиболее эффективного метода анализа результатов статистического контроля трактов цифровых ВОСС,
- разработка подходов к методике определения качественного состояния каналов и трактов на основе статистического контроля наиболее эффективным методом,
- составление алгоритма автоматизированной обработки результатов статистического контроля и программы оценки качественного состояния трактов цифровых ВОСС выбранным методом,
- исследование нестабильности вторичных источников электропитания



как одной из причин возникновения ошибок и определение зависимости качества передачи цифровых сигналов от нестабильности источника электропитания,

- определение технико-экономической эффективности предлагаемых мер по повышению качества цифровых трактов передачи информации.

Во второй главе проведен сравнительный анализ статистических методов контроля (идеального наблюдателя, Неймана-Пирсона и последовательного анализа) и оценки верности передачи цифровых сигналов. Результаты анализа статистических методов, при их использовании для оценки качества каналов и трактов, привели к следующим выводам:

метод последовательного анализа дает возможность существенно сократить среднее время сбора статистических данных и при этом не уступает классическим методам с точки зрения достоверности принятия правильных решений. При принятии решений с использованием метода последовательного анализа нет необходимости заранее рассчитывать время сбора данных, т.к. принятие той или иной гипотезы производится на каждом дискретном этапе контроля. На рис.2 приведено графическое представление метода оценки качественного состояния каналов и трактов на основе последовательного анализа. В соответствии с условиями (1) пороговые значения количества секунд с ошибками  $S_1$  и  $S_2$  могут быть заданы с определенными значениями вероятностей ошибки первого рода  $\alpha$  и второго рода  $\beta$ . Процедура контроля продолжается до тех пор пока сумма секунд с ошибками ( $K_i$ ) не пересечет одну из границ  $S_1$  и  $S_2$  после чего принимается соответствующая оценка качественного состояния тракта.

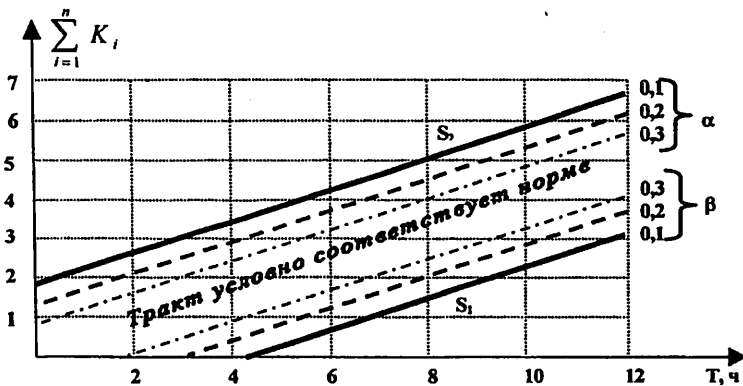


Рис.2 Оценка качественного состояния каналов и трактов методом последовательного анализа.

Учитывая общие выражения А.Вальда, приведены основные соотношения последовательного анализа при распределении потока секунд с ошибками подчиняющегося закону Пуассона, который был установлен при экспериментальных статистических исследованиях 2,048 Мбит/с трактов цифровых волоконно-оптических систем передачи. С учетом специфики построения системы контроля и оценки качества каналов и трактов и ее практической реализации определена оперативная характеристика, на основе которой получены:

- зависимость среднего числа испытаний от параметра закона распределения (рис.3):

$$\bar{\nu}(\Theta_0) \approx \frac{\beta \ln \frac{\beta}{1-\alpha} + (1-\beta) \ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\Theta_0 \ln \frac{\Theta_0}{\Theta_1} - (\Theta_0 - \Theta_1)} \quad (2)$$

где  $\Theta$  - параметр закона Пуассона, причем при  $\Theta = \Theta_1$  качество канала передачи соответствует нормам, а при  $\Theta = \Theta_0$  - не соответствует,

$\alpha$  - вероятность того, что система контроля признает реально нормальный тракт, как не удовлетворяющий нормам,

$\beta$  - вероятность того, что тракт не удовлетворяющий нормам будет признан системой контроля как удовлетворяющий нормам;

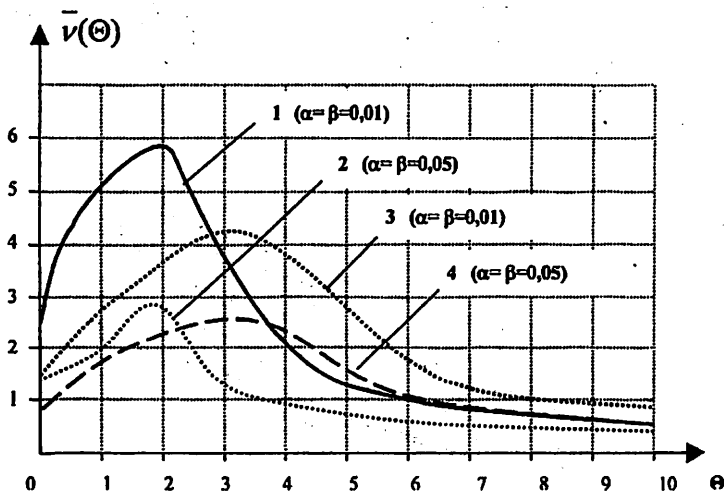


Рис.3 Зависимость среднего числа испытаний от параметра  $\Theta$  (кривая с номером 1 и 2 соответствует значениям  $\Theta_1=1, \Theta_0=3$ ; 3 и 4 соответственно  $\Theta_1=2, \Theta_0=5$ ).

- получены выражения для определения значений вероятности ошибок первого и второго рода ( $\alpha$  и  $\beta$ ) при пуассоновском распределении потока секунд с ошибками, с условием минимизации финансовых затрат:

$$\alpha = \frac{q}{Q_1 \left[ \Theta_0 \ln \frac{\Theta_0}{\Theta_1} - (\Theta_0 - \Theta_1) \right]}, \quad (3)$$

$$\beta = \frac{q}{Q_2 \left[ \Theta_1 \ln \frac{\Theta_1}{\Theta_0} - (\Theta_1 - \Theta_0) \right]}, \quad (4)$$

где  $q$  – финансовые затраты на испытания за единицу времени (или затраты на группу испытаний в случае применения группировки) выражаются в у.е.;

$Q_1$  – финансовые затраты на напрасную корректировку, дополнительные измерения, без реальной необходимости, выраженные в у.е.;

$Q_2$  – финансовые затраты при выводе тракта из эксплуатации на техническое обслуживание, при появлении ложных сигналов (в у.е.).

На основе выведенных выражений последовательного анализа при пуассоновском потоке секунд с ошибками разработаны алгоритм и программа автоматизированной оценки качественного состояния каналов и трактов. Оценка производится путем сравнения количества секунд с ошибками, возникших за соответствующие интервалы времени, с квотой по нормам на качественные показатели, рекомендуемой Международным союзом электросвязи. При пуассоновском процессе появления секунд с ошибками ( $\omega$ ) логарифм отношения вероятностей имеет вид:

$$\ln \frac{P_1(\omega)}{P_0(\omega)} = \omega \ln \frac{\Theta_1}{\Theta_0} - \Theta_1 + \Theta_0, \quad (5)$$

Основное неравенство последовательного анализа, при  $\Theta = N\lambda$  представлено выражением:

$$a_0 < \omega < r_1, \quad (6)$$

где  $a_0 = [ \ln (\beta / (1-\alpha)) + N(\lambda_1 - \lambda_0) ] / \ln (\lambda_1 / \lambda_0)$ ,

$r_1 = [ \ln ((1-\beta) / \alpha) + N(\lambda_1 - \lambda_0) ] / \ln (\lambda_1 / \lambda_0)$ ,

$\alpha$  – вероятность признания качества нормального канала неудовлетворительным, т.е.  $\Theta \geq \Theta_0$ ;

$\beta$  – вероятность признания качества неудовлетворительного канала нормальным, т.е.  $\Theta \leq \Theta_0$ ;

$\lambda$  – интенсивность появления секунд с ошибками;

$N$  – число испытаний.

Начальные величины  $a_{0n}$  и  $r_{1n}$  (при  $N=0$ ), текущие значения  $a_{0i}$  и  $r_{0i}$  определены по формулам:

$$\begin{aligned} a_{0i+1} &= a_{0i} + a_0, & \Delta a_0 &= (a_{0k} - a_{0n}) / N_k, \\ r_{1i+1} &= r_{1i} + \Delta r_1, & \Delta r_1 &= (r_{1k} - r_{1n}) / N_k, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $a_{0n}$  и  $r_{1n}$  - начальные значения  $a_0$  и  $r_1$  (при  $N=0$ ),  
 $a_{0k}$  и  $r_{1k}$  - конечные значения  $a_0$  и  $r_1$ , зависящие от точности чисел с плавающей точкой и используемой программы (при  $N_k$  - конечном значении числа испытаний).

Испытание и проверка продолжаются до тех пор, пока соблюдается неравенство (6). Как только оно нарушится, испытание прекращается. Если  $\omega \leq \alpha_0$ , то качество канала признается нормальным, а если  $\omega \geq r_1$  - не удовлетворительным. Из (6) видно, что значения  $a_0$  и  $r_1$  зависят только от величин  $\lambda_0$ ,  $\lambda_1$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $N$ , поэтому они могут быть рассчитаны и табулированы до начала испытаний.

Алгоритм процедуры последовательного анализа представлен на рис.4. По приведенному алгоритму составлена программа, состоящая из нескольких блоков:

- блок, отражающий алгоритм последовательного анализа;
- блок коммутатора режимов "тест" и "работа";
- блок интерфейса с пользователем;
- блок вывода обработанной информации в виде графика или таблицы.

Программа осуществляет следующие функции:

В режиме "тест" моделируется прохождение цифровой последовательности от источника испытательных сигналов через линейный тракт:

- 1) Производится генерация псевдослучайной последовательности чисел (ПСЧ) и запись её в память компьютера.
- 2) Происходит вывод текущей посылки ПСЧ.
- 3) Производится прием данной посылки (измененной помехами в линии, где помеха определяется псевдослучайной величиной и может задаваться в программе в виде значения вероятности появления ошибки).
- 4) Осуществляется запись принятой посылки в буфер данных.
- 5) Проводится сравнение переданной и принятой посылки.
- 6) Производится статистический анализ.
- 7) Выводятся график, таблица и конечные результаты, после окончания передачи/приема, согласно условиям алгоритма.

В режиме "работа" производятся аналогичные действия, только здесь мы уже имеем дело не с гипотетическими сигналами, а с реальными последовательностями, прошедшими через тракт передачи.

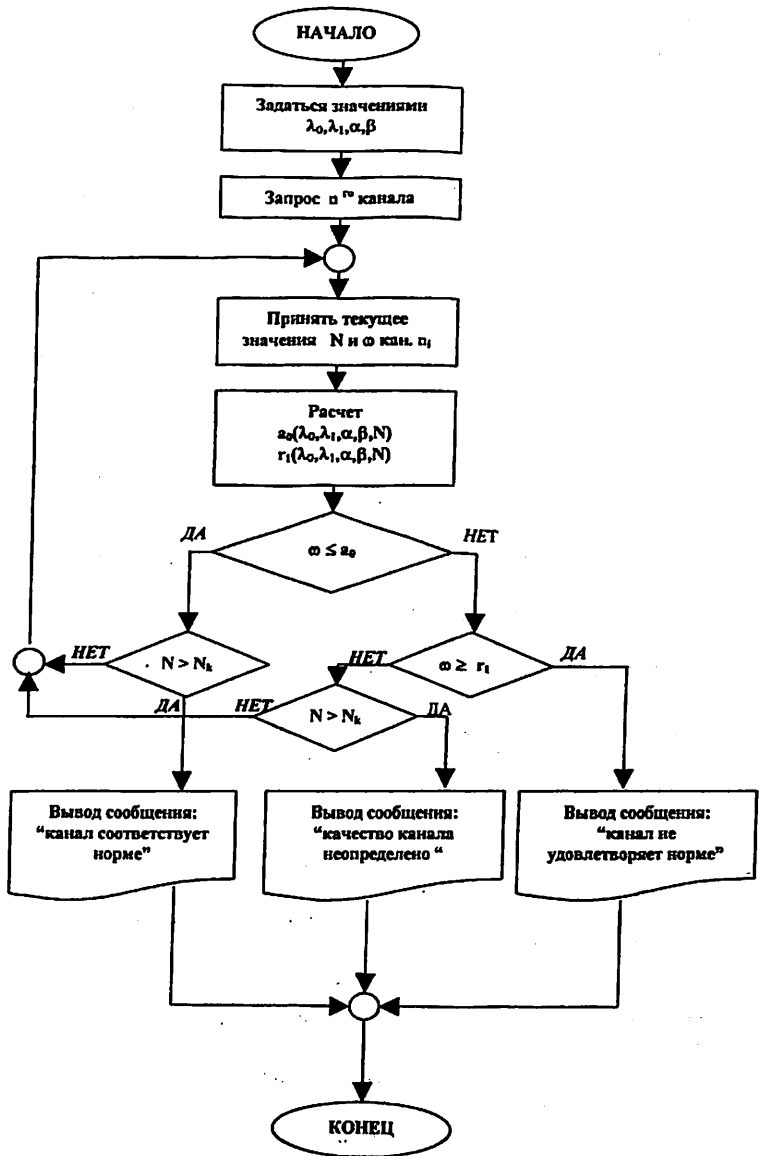


Рис.4 Алгоритм процедуры последовательного анализа для оценки качества канала передачи.

Данная программа позволит автоматизировать процесс обработки результатов статистического контроля качества цифровых каналов и трактов передачи. Применение этой программы при технической эксплуатации даст возможность своевременно обнаруживать тенденцию ухудшения качества каналов и трактов и принимать меры по восстановлению проектного уровня качества, что сократит временные интервалы эксплуатации цифровых каналов и трактов передачи, при которых их качественные параметры не удовлетворяют установленным нормам.

В третьей главе на основе экспериментов доказана степень влияния нестабильности питающих напряжений на качество передачи цифровых сигналов. Обоснована эффективность использования источников бесперебойного электропитания с дельта преобразованием на узлах связи, которые обеспечивают:

- стабильное нормированное выходное напряжение,
- стабильную частоту выходного напряжения,
- минимальные гармонические искажения, поступающие в цепи электропитания при работе данного устройства,
- коэффициент мощности близкий к единице,
- автоматический контроль за состоянием аккумуляторных батарей резервного питания,
- высокий коэффициент полезного действия,
- минимальный уровень шума,
- минимальные эксплуатационные затраты, по сравнению с другими типами источников бесперебойного питания этого класса.

Предложено для правильного выбора мощности источника бесперебойного питания использовать формулу:

$$P_{\text{ИБП}} = [k_{a(n)} \cdot (P_n / U_c) / k_{a(\text{ИБП})}] \cdot U_c \cdot 1,25 \quad (8)$$

- где  $P_n$  - мощность, потребляемая нагрузкой,  
 $U_c$  - напряжение электросети,  
 $k_{a(\text{ИБП})}$  - коэффициент амплитуды на который рассчитан источник бесперебойного питания,  
 $k_{a(n)}$  - коэффициент амплитуды нагрузки.

Обоснована целесообразность использования на всех участках цифровой сети связи источников бесперебойного электропитания с дельта преобразованием, которые по сравнению с другими применяемыми типами источников бесперебойного электропитания более эффективно предотвращают импульсные выбросы, провалы и перерывы, что способствует значительному сокращению количества ошибок, возникающих по причине нестабильности в цепях электропитания и тем самым повышают качество передачи информационных потоков. Кроме того, отпадает необходимость устанавливать на узлах связи дополнительные дорогостоящие

высокостабильные источники вторичного электропитания.

В четвертой главе проводится анализ технико-экономической эффективности применения бесперебойного источника электропитания с дельта преобразованием и статистического контроля качества цифровых каналов и трактов передачи.

Для предотвращения эксплуатации трактов, находящихся в неудовлетворительном качественном состоянии, предлагается установить пороговый уровень качества  $K_n$  (рис.5), для соответствующего тракта. Этот уровень будет находиться в пределах области  $K_{сн}$ , удовлетворяющей нормам на показатели качества, рекомендованным МСЭ-Т. На рисунке 5, ось ординат разделена на три области, соответствующие градациям качественного состояния ( $K$ ) тракта в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т, где  $K_{сн}$  – качество соответствует нормам,  $K_{усн}$  – качество условно соответствует нормам,  $K_{нсн}$  – качество не соответствует нормам. По оси абсцисс отложено время эксплуатации данного тракта.

Сплошной темной кривой показано текущее качественное состояние тракта, а точечной кривой – его объективное состояние, определяемое методом статистической обработки. Как только системой статистического контроля, основанной на принципе последовательного анализа, будет определено, что качество тракта передачи объективно вышло за предварительно установленный предельный уровень  $K_n$ , автоматически будет выдаваться аварийный сигнал (эти моменты обозначены  $t_{ас}$  на рис.5). Этот сигнал будет адресован техническому персоналу для принятия соответствующих мер по поддержанию качественных показателей на проектном уровне. В течение времени, когда принимаются меры по установлению и устранению причины, вызвавшей ухудшение качественного состояния тракта, данный тракт продолжает эксплуатироваться при качественных показателях, соответствующих нормам МСЭ-Т.

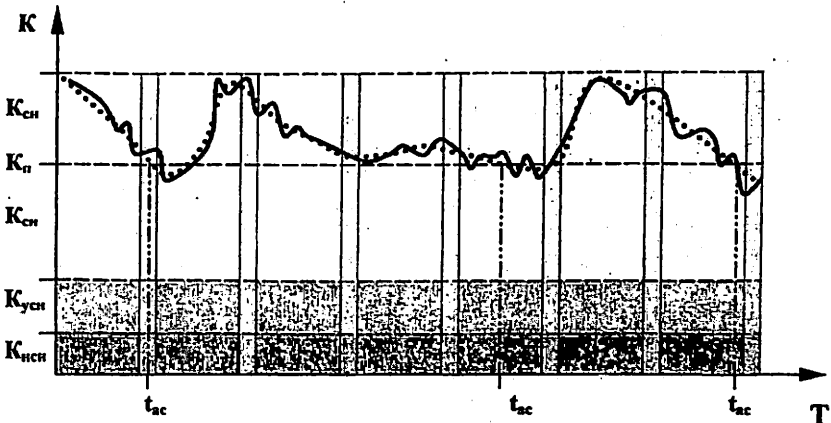


Рис.5 График качественного состояния тракта при проведении контроля

методом последовательного анализа.

В заключении обобщены основные результаты работы и их возможность применения на практике.

В приложении приведен листинг программы, реализующей ускоренную статистическую оценку результатов контроля качественного состояния цифровых трактов передачи информации.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Определены квоты по нормам Международного союза электросвязи на качество трактов ЦВОСП, приходящиеся на национальный участок сети связи Узбекистана. Использование этих норм дало возможность оценить качественное состояние трактов передачи в зависимости от их протяженности и скорости информационного потока.

2. В результате действия дестабилизирующих факторов в цифровых трактах могут иметь место ошибки при передаче информационных сигналов. Так как наиболее широкое распространение на телекоммуникационной сети получили типовые 2 Мбит/с тракты передачи, то именно они и были подвергнуты длительным статистическим исследованиям. В соответствии с теорией математической статистики был определен необходимый объем статистических данных с доверительной вероятностью 0.95 при относительной ошибке 0.11. Результаты обработки статистических данных методами математической статистики показали, что поток секунд с ошибками можно аппроксимировать законом Пуассона с определенными параметрами. Эти выводы имеют практическое значение для автоматизации статистической оценки качественного состояния трактов передачи.

3. Для выбора метода статистической оценки проведен сравнительный анализ статистических методов контроля качества передачи цифровых сигналов, который показал, что метод последовательного анализа является более эффективным по сравнению с другими статистическими методами с точки зрения их применения в телекоммуникации. С учетом общих выражений последовательного анализа, были выведены основные соотношения при распределении потока секунд с ошибками, (в соответствии с рекомендациями Международного союза электросвязи G.826) подчиняющегося закону Пуассона, который был установлен при экспериментальных статистических исследованиях 2 Мбит/с трактов ЦВОСС. Принимая во внимание специфику построения системы контроля и оценки качества каналов и трактов и ее практической реализации, определены зависимость среднего числа испытаний от параметра закона распределения и оптимальные значения ошибок первого и второго рода ( $\alpha$  и  $\beta$ ) при пуассоновском распределении потока секунд с ошибками.

4. Предложен вариант использования метода усеченного



последовательного анализа для экспресс-оценки качества цифровых каналов и трактов передачи. Этот метод даст возможность ускоренной оценки состояния каналов и трактов, что необходимо, например, при локализации поврежденных трактов передачи или выезде ремонтной бригады на отдаленные участки линейного тракта.

5. На основе выведенных выражений, описывающих метод последовательного анализа при пуассоновском потоке секунд с ошибками, разработаны алгоритм и программа автоматизированной оценки качественного состояния каналов и трактов. Оценка производится путем сравнения количества секунд с ошибками, возникших за соответствующие интервалы времени, с квотой по нормам на качественные показатели, рекомендуемой Международным союзом электросвязи. Использование этой программы позволит:

автоматизировать процесс обработки результатов статистического контроля качества цифровых каналов и трактов передачи,

обнаруживать тенденцию ухудшения качественного состояния каналов и трактов в реальном времени и принимать меры по восстановлению их проектного уровня качества.

6. Исходя из того, что одной из основных причин возникновения ошибок в системах передачи является нестабильность питающих напряжений, экспериментально доказана степень влияния зависимости нестабильности питающих напряжений на качество передачи цифровых сигналов. Обоснована эффективность использования источников бесперебойного электропитания с дельта-преобразованием на узлах связи. Применение на всех участках цифровой сети связи источников бесперебойного электропитания с дельта-преобразованием, которые предотвращают импульсные выбросы, провалы и перерывы, будет способствовать значительному сокращению вероятности возникновения ошибок связанных с нестабильностью в цепях электропитания и тем самым повысит качество передачи информационных потоков. Кроме того, отпадает необходимость устанавливать на узлах связи дополнительные дорогостоящие высокостабильные источники вторичного электропитания.

7. Применение статистического контроля и оценки методом последовательного анализа исключает эксплуатацию трактов, находящихся в таком состоянии, при котором их качественные показатели не удовлетворяют нормам Международного союза электросвязи, что дает телекоммуникационным предприятиям значительный экономический эффект. Кроме экономического эффекта, применение статистического контроля и оценки методом последовательного анализа дает ощутимый технический эффект, заключающийся в том, что в любой момент времени оператор владеет объективной информацией о качественном состоянии трактов, что позволяет планировать и осуществлять технические мероприятия, направленные на поддержание качественного состояния каналов и трактов на проектном уровне.

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

1. **Berganov I.R., Zerov E.A., Chanishev V.A.** Increase of efficiency of statistical quality control in digital communication system// Actual problems of telecom. Proceedings TEIC, vol.1. Belgium, 1998. – P. 23-28.
2. **Чанышев В.А.** Влияние нестабильности питающих напряжений на качество передачи в цифровых системах связи// Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ТЭИС, часть 4. – Ташкент: ТЭИС. –1999. – С. 63-66.
3. **Чанышев В.А.** Исследование качества каналов волоконно-оптических систем передачи// Вестник связи. – №1., Минск. – 1999. – С.25.
4. **Berganov I.R., Chanishev V.A.** Estimation of efficiency of quality verification of digital communication channels// Actual problems of telecom. Proceedings TEIC, vol.2. Belgium, 1999. – P.57-59.
5. **Чанышев В.А.** Исследование качества трактов цифровых систем передачи// Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики. – 2000. – №4. – Ташкент: ФАН. – С. 45-49.
6. **Чанышев В.А.** Алоканинг ракамли каналлари ва трактларининг сифатини кутариш// Узбекистон Мустақиллиги – унинг фани ва технологияларини ривожлантириш кафолати/ Мавзуидаги бешинчи республика илмий конференцияси, I том. – Тошкент, 2001. – Б.147-150.
7. **Чанышев В.А.** Исследования влияния нестабильности напряжения электропитания на качество передачи цифровых сигналов// Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики №2. – Ташкент: ФАН, 2002. – С. 24-29.
8. **Берганов И.Р., Чанышев В.А.** Ускоренная статистическая оценка качественного состояния трактов цифровых систем передачи/ Свидетельство государственного патентного ведомства Республики Узбекистан №DGU 00568. – Зарегистр. 8.10.2002.

В.А. Чанишевнинг диссертация иши «Рақамли оптик алоқа тизимларининг линия трактларини сифатини ошириш», соҳаси 05.12.02 – алоқа канналари орқали ахборот узатиш қурилмалари ва тизимлари.

Юқори тезликли, рақамли оптик толали алоқа тизимларини трактини статистик текшириш натижалари асосида, рақамли сигналларни узатиш сифатини ошириш мақсадида ушбу диссертация ишида кетма-кет таҳлил қилиш усули орқали статистик назорат қилишни қўллаш таклиф қилинади. Бу усул узатиш сифатини ёмонлашиш тенденциясини ўз вақтида аниқлаш ва уни қайта тиклаш бўйича мос келувчи чораларни қабул қилиш имконини яратади.

Ахборот узатиш канал ва трактларни ҳолат сифатини автоматик баҳоловчи дастур ва алгоритм ишлаб чиқилган. Сигнални узатиш сифатини ошириш учун, ҳозирги пайтда қўлланилаётган электр таъминоти манбалари ўрнига, дельта-ўзгарувчан узлуксиз электр таъминоти манбаини алоқа тугунларида жойлаштириш таклиф қилинган.

Chanishev V.A. thesis work «The quality improvement of baseband transmission paths of digital optical communication systems», speciality 05.12.02 - Systems and devices of information communication on transmission channels.

In given thesis with the purpose of the quality improvement of digital signal transmission, on the statistical result basis of high-speed paths probing in optical-fiber communication system, it is offered to use a statistical monitoring by a method of a sequential analysis. This method allows to find out the deterioration quality tendency of transmission in time and receive appropriate measures on its restoration.

Algorithm and program for automated estimation of qualitative condition of channels and information routes are designed. It is offered on communication points the uninterrupted power sources with delta-conversion to install for improvement of the quality of a signal transmission, instead of using electric power sources.