НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

УДК 006.91

На правах рукописи

КЛИМАЧЕВ Денис Вадимович

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБОК 1-ГО И 2-ГО РОДА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ КОНТРОЛЯ ПАРТИИ ИЗДЕЛИЙ

Специальность 05.11.15 – Метрология и метрологическое обеспечение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



Москва – 2004

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н. Э. Баумана.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Назаров Н.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Левин С.Ф.

кандидат технических наук, доцент
Архангельская Е.А.

Ведущее предприятие: ОАО «Московский подшипник»

Защита диссертации состоится «23» декабря 2004 г. в 14[30] час. на заседании диссертационного совета Д 212.141.18 в Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-ая Бауманская ул., дом 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу.

Автореферат разослан «17» ноября 2004 г.

Телефон для справок: 267-09-63

Ученый секретарь
диссертационного совета
к. т. н., доцент Цветков Ю.Б.

Подписано к печати 11.11.04г. Объем 1,0 п. л. Тираж 100 экз.
Заказ 252 Типография МГТУ им. Н. Э. Баумана

104

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1698515
Климачев Д.В. Методика опр

НА
НЕ В

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

1.1. Актуальность темы

В современном мире вопросам повышения качества продукции уделяется огромное внимание. Наличие эффективной системы качества на производстве определяет успех любой компании в различных отраслях производства. Одним из элементов системы качества является организация измерительного контроля.

Актуальность теоретических и практических работ в этих областях особенно возросла в связи потребностями науки и техники, возникшими в процессе изучения новых высоких и сверхвысоких энергий, скоростей, ускорений, давлений, вакуума, температур, а также с возрастанием конкуренции на мировых промышленных рынках, усложнением конструкций изделий и повышением требований к производителю продукции, особенно с позиций её безопасности для потребителя и надежности.

По данным некоторых исследований, передовые индустриальные страны тратят на операции, связанные с измерениями, от 3 до 6% валового национального продукта. Измерения становятся не единичной технологической операцией, а превращаются в комплекс измерительных технологий, направленных на получение информации заданного уровня качества.

Метрологическое обеспечение выполняется на протяжении всех этапов "жизненного цикла" изделий и систем, а именно: при разработке, производстве, испытаниях и эксплуатации. Результаты, полученные при измерениях, позволяют не только контролировать качество выпускаемых изделий, но и дать рекомендации по изменению технологических процессов для повышения эффективности производства.

В ряде случаев, информация, полученная на основании метрологических исследований, позволяет найти более оптимальную и совершенную конструкцию технических узлов, агрегатов, комплексов.

Например, в современных радиоэлектронных комплексах число контролируемых параметров достигает десятков тысяч единиц, при этом используется около тысячи измерительных приборов. Так, при техническом обслуживании и ремонте на радиолокационной станции обнаружения и наведения измеряется около десяти тысяч параметров, а на радиоприемной станции – более трех тысяч параметров. Трудозатраты на измерение и контроль параметров таких комплексов, достигает порядка 70% всех трудозатрат, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом такой аппаратуры. В авиационно-космической технике камеры, применяемые при имитационном моделировании поведения спутников в условиях космического пространства, осуществляют контроль множества показателей. При этом стоимость испытательных установок резко возрастает с увеличением числа параметров, подлежащих контролю.

В связи с этим, основной тенденцией в развитии метрологического обеспечения является эволюция - от задачи обеспечения единства и требуемой точности измерений, к более широкой и важной задаче - обеспечения качества измерений по всем его составляющим: точности, надежности, стоимости, продолжительности. Эту задачу можно решить только при одновременном совершенствовании составных частей метрологического обеспечения: определению оптимального числа контролируемых параметров, правильном выборе методов и средств измерений, современному математическому обеспечению процессов измерений и контроля.

В то же время, увеличение точности измерений ограничивается методическими и техническими возможностями средств измерений. Во многих случаях невозможно дальнейшее увеличение точности измерений посредством улучшения средств измерения, модификации конструкций приборов или применения новых высокоэффективных материалов. Поэтому, возникает необходимость разрабатывать новые методы измерений и применять специализированные алгоритмы для планирования эксперимента и обработки результатов измерений, в том числе и многократных.

Решение измерительной задачи на основе многократных измерений производится в соответствии с планом измерения. Синтез плана измерения является оптимизационной процедурой. Существуют работы, в которых приводятся алгоритмы формирования оптимального плана контроля в предположении, что ограничения на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода (α_0 и β_0) заданы. Выбор конкретных значений этих величин в основном базируется на опытных данных и интуитивных соображениях. В случае неправильной организации сплошного и выборочного контроля (в том числе при поверхностном отношении к вопросу выбора конкретных значений α_0 и β_0) изготовитель может понести огромный экономический ущерб либо за счет неоправданно высоких затрат на контроль либо из-за расходов на рекламации.

При решении актуальных проблем метрологического обеспечения производства возникает ряд задач, среди которых:

1. Исследование влияния точности измерительных приборов (в том числе образцовых средств измерения) на величину рисков производителя и потребителя.

2. Разработка алгоритмов выбора контрольных допусков, обеспечивающих выполнение требований на величину рисков потребителя и изготовителя.

3. Разработка алгоритмов планирования методик выполнения измерений (МВИ), обеспечивающих требуемую точность измерений и оптимальных по критерию стоимости измерений.

4. Разработка алгоритмов планирования методик выполнения контроля (МВК), обеспечивающих требуемую достоверность результатов контроля и оптимальных по критерию стоимости затрат на контроль.

Эти задачи являются актуальными при планировании новых МВИ и МВК и при анализе уже существующих методик с целью их корректировки.

При решении этих проблем возникает много дополнительных вопросов. В диссертации рассматривается задача разработки алгоритмов нахождения оптимальных ограничений на вероятности ошибок 1-го в 2-го рода, при оценке качества партии однородных изделий на основе сплошного контроля и контроля с использованием однократной случайной выборки.

Рассматриваемая задача актуальна для самых различных отраслей производства (машиностроение, электротехника, электроника и др.). Особую ценность подобные алгоритмы представляют для предприятий, выпускающих прецизионные элементы, где затраты на производство и контроль единичного изделия являются достаточно высокими и, в то же время, необходимо обеспечить требование минимизации риска потребителя. Например, производство подшипников, силовых пружин, полимерных деталей, электротехнического оборудования и др. Таким образом, разработка надежных алгоритмов планирования, оптимальных по критерию затрат, является важной научно-практической задачей.

1.2. Цель работы и задачи исследований

Целью данной научной работы является разработка алгоритмов нахождения оптимальных по стоимостному критерию ограничений на вероятности ошибок первого и второго рода при планировании измерений для оценки качества партии однородных изделий с помощь аппарата теоретической метрологии, математической статистики, теории вероятностей и теории оптимизации.

Основными задачами исследований являются:

- анализ методик планирования для оценки качества партии однородных изделий;
- разработка математических моделей для определения оптимальных значений вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода в случае вариантов сплошного контроля изделий и контроля по однократной случайной выборке;
- разработка программного модуля для решения оптимизационной задачи, входящего в состав программного пакета по планированию и обработке измерений;
- проведение исследований для оценки достоверности предложенных моделей.

1.3. Методы исследования

Результаты выполненных и представленных в работе исследований получены с использованием методов теоретической метрологии, прикладной

метрологии, теории математической статистики, теории вероятностей, методов общей алгебры, комбинаторики, методов оптимизации и линейного программирования.

1.4. Научная новизна

Научную новизну работы составляют:

1. Математическая модель, связывающая затраты на контроль с вероятностями ошибок первого и второго рода в случае сплошного контроля;
2. Математическая модель, связывающая затраты на контроль с вероятностями ошибок первого и второго рода в случае контроля партии по случайной выборке;
3. Программный пакет для решения оптимизационной задачи.

1.5. Практическая ценность работы

Практическая ценность работы состоит в разработке математического аппарата, необходимого для рационального и эффективного метрологического обеспечения производства. Предложенные алгоритмы могут найти применение для предприятий и организаций различных сфер деятельности.

Созданный в процессе диссертации программный комплекс позволяет автоматизировать работу служб, связанных с проведением измерительного контроля и обеспечением качества выпускаемой продукции.

1.6. Реализация и внедрение результатов работы

Разработанные программные модули, вошли в состав программных комплексов, используемых для планирования контроля на предприятии ООО "Эврика".

Результаты исследований также могут быть рекомендованы к внедрению на ОАО ЦНИТИ «Техномаш», ОАО «Московский подшипник».

1.7. Апробация работы

Основные положения диссертационной работы были доложены и получили поддержку на научных семинарах кафедры "Метрология, стандартизация" МГТУ им. Н.Э.Баумана и на научно-практических конференциях: 5,7,8 всероссийская научно-техническая конференция "Состояние и проблемы технических измерений", 3-я международная научно-практическая конференция "Качество полимерных материалов и изделий. Инновации, сертификация, контроль" г.Санкт-Петербург, 5–я международная научно-техническая конференция "Чкаловские чтения".

1.8. Работы по теме диссертации

Автор имеет восемь опубликованных работ по теме диссертации.

1.9. Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, заключения и приложений. Содержание изложено на 112 страницах, содержит 30 рисунков и 12 таблиц.

2. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность работы, определяется класс рассматриваемых задач. Формулируются цели и задачи исследований, приводятся основные положения работы.

Диссертация посвящена разработке методики определения оптимальных ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода, с учетом экономического критерия.

В первой главе приводится обзор разработанных к настоящему времени методов для оценки эффективности существующих на сегодняшний день методик и подходов к решению этой задачи, основанных на положениях теоретической метрологии, прикладной метрологии, методах математической статистики и теории вероятностей.

Ряд вопросов, возникающих при решении задач разработки методик выполнения измерения, анализа данных и повышения точности и достоверности измерений рассмотрено в работах таких ученых как Дунаев Б.Б., Марков Н.Н., Сычев Е.А., Гличев А.В., Бородачев Н.А., Киселев М.И., Цапенко М.П., Назаров Н.Г., Земельман М.А., Шабалин Ю.В., Новицкий П.В., Воронцов Л.Н., Рубичев Н. А., Цветков Э.И., Левин С.Ф., Данилевич С.Б., Архангельская Е.А., Немировский А.С. и других. Приведенные в данных работах графики позволяют в некоторых случаях вычислить требуемую точность измерения, обеспечивающую требуемую достоверность контроля. На основе этих рекомендаций в ряде частных случаев можно обосновать требуемую точность измерения, гарантирующую необходимую достоверность контроля. В качестве закона распределения погрешностей измерения и контролируемых показателей используется гауссовский закон распределения.

Существующие методы рассчитаны на знание законов распределения контролируемых параметров и погрешности измерения контролируемых параметров. Поэтому решения найдены для частных случаев распределения (нормальное, равномерное), что не может удовлетворять запросам производителя. Кроме того, предлагаемые методики не позволяют выбирать ограничения оптимальные по экономическому критерию. Поэтому, показывается, что необходимо предложить производителю адаптивно настраивающийся программный пакет, реализующий решение указанных задач.

Рассмотрены существующие методы планирования контроля (в том числе многопараметрического) с использованием критерия минимума затрат на основе метода имитационного моделирования для двух случаев:

1.Контроль единичных экземпляров.

2.Контроль серийно - выпускаемой продукции.

При контроле серийной продукции, контролируемые параметры могут быть статистически независимыми или зависимыми. Критерием оптимальности являются приведенные затраты на контроль С, которые включают в себя затраты на проведение контроля и потери от ошибок контроля.

В этом случае, под оптимизацией понимается выбор оптимальных значений методики контроля, минимизирующих затраты на контроль С и обеспечивающие выполнение неравенства $\beta < \beta_д$ (β – вероятность ошибки 2-го рода). В затраты С включаются затраты на проведение контроля и затраты из-за ошибок контроля. Качество результатов контроля характеризуется вероятностями ошибки контроля первого и второго рода α и β соответственно. К оптимизируемым параметрам относятся: допускаемая погрешность измерений при контроле и значения контрольных допусков.

Метод позволяет вычислить оценки рисков потребителя и изготовителя (вероятность ошибки 2-го рода и вероятность ошибки 1-го рода) с учетом основных параметров контроля. Методика оптимизации многопараметрического контроля, основанная на способе имитационного моделирования представлена в работах Данилевича С.Б.

Однако эти алгоритмы, учитывающие комплексное взаимодействие факторов, не позволяют сформировать универсальную модель. Так как процедура построения такой модели контроля учитывает множество факторов, индивидуальных для каждого класса контролируемых изделий, что требует выполнения процедуры моделирования случайных величин (векторов), имитирующих контролируемые параметры изделий, погрешности выполняемых измерений, а также программу контроля в соответствии с выбранным алгоритмом.

Кроме того, использование такой методики связано с необходимостью проведения дополнительных исследований в каждом конкретном случае. Наибольшая эффективность таких методов будет осуществляться в случае анализа существующих МВК для оценки достоверности поверки единичных экземпляров ответственных СИ (например, прецизионных вольтметров, манометров и т.п.). В условиях производства такой подход не является приемлемым, вследствие жестких временных ограничений.

В связи с этим, практически ценной становится задача разработки универсальной математической модели, позволяющей оперативно рассчитывать оптимальные значения α_0 и β_0.

Вторая глава диссертации посвящена обзору особенностей построения оптимальных алгоритмов планирования при контроле партии однотипных изделий на основе однократной случайной выборки, при заданных ограничениях на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода.

Для характеристики качества партии используется величина - уровень дефектности $x_i = \frac{i}{N}$, где N -объем партии, i -количество дефектных изделий.

Сформированы условия, определяющие альтернативные классы эквивалентности партий продукции: класс годных партий (гипотеза H_0) и класс бракованных партий (гипотеза H_1). Для принятия решения по контролируемой партии необходимо получить оценку величины x_i. Данную оценку $Y(x_i)$ можно получить на основе случайной выборки n- изделий с последующим сплошным контролем изделий, входящих в выборку.

3) Решающая функция при оценке качества партии строится исходя из возможных значений случайной оценки $Y(x_i)$:

$$s(y(x_i)) = \begin{cases} 0, & y(x_i) \le y_0 \quad - \textit{годная партия} \\ 1, & y(x_i) > y_0 \quad - \textit{бракованная партия} \end{cases}$$

Для исследования и анализа оценок качества партии используется оперативная характеристика решающей функции.

Для гипергеометрического закона распределения оперативная характеристика имеет вид:

$$L(x_i / N, n, y_0) = \sum_{\nu=0}^{k_0} P(\nu / N, n, i).$$

План измерения включает три параметра (N, n, k_0), в котором N – объем партии, n-объем выборки k_0 - приемочное число.

Для пуассоновского закона распределения оперативная характеристика имеет вид: $L(x_i / n, k_0) = e^{-nx_i} \sum_{\nu=0}^{k_0} \frac{(nx_i)^\nu}{\nu!}$.

План измерения для такой оперативной характеристики имеет вид (n, k_0), в котором n – объем случайной выборки, k_0 - приемочное число.

Выбирая параметры плана, можно влиять на значения вероятности ошибок 1-го и 2-го рода. Приводятся графики и анализ поведения оперативной характеристики для двух вариантов распределений: гипергеометрическое и пуассоновское. Рассмотрены особенности планирования измерений, учитывающие ошибки контроля изделий в выборке.

Из множества допустимых планов можно выбрать план, у которого значение объема выборки n – минимальное. Такой план называется оптимальным допустимым планом. В случае гипергеометрического закона оптимальный допустимый план имеет вид $(N,\hat{n},\hat{k}_0)$. Для пуассоновского закона распределения оптимальный допустимый план представляется в виде $(\hat{n},\hat{k}_0)$. Оптимальный план обеспечивает минимальный объем выборки, что ведет к снижению затрат на контроль изделий, входящих в выборку.

Задача формирования оптимального плана сводится к нахождению параметров $\hat{n}$ и $\hat{k}_0$. Приводятся математические алгоритмы для построения оптимального плана при оценке качества продукции.

В третьей главе диссертации описываются разработанные математической модели затрат производителя как функции ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода.

Рассмотрены два варианта построения технологии контроля производителя. Вариант 1 - сплошной контроль изделий в партии. Вариант 2 – принятие решение о качестве партии с использованием однократной случайной выборки объемом n.

При построении моделей был выполнен анализ составляющих затрат производителя для случая сплошного контроля изделий в партии (приемочный контроль) и контроля партии по случайной выборке. При этом за основу расчета стоимостных показателей взята себестоимость производства единичного изделия S_1.

В случае сплошного контроля основными составляющими затрат производителя являются:

S_1N - затраты на производство партии,

$C_{1k}(\alpha,\beta)N$ - затраты на контроль изделий в партии (N,i);

$C_1^*N_2$ - затраты на усиленный контроль изделий из множества изделий признанных бракованными(N_2,i_2), где N_2-кол-во изделий оцененных как дефектные, $i_2 = i(1-\beta)$-кол-во дефектных изделий.

$\Delta S_1 i_2$ - затраты на доработку i_2 бракованных изделий;

$C_K i_1$ - компенсация заказчику (потребителю) за i_1 бракованных изделий.

Если контроль партии осуществляется по выборке, то составляющие затрат производителя будут следующими:

а) Принимается гипотеза H_0:

$C_1^*\hat{n}(\alpha_0,\beta_0)$ - затраты на контроль изделий в выборке, где $\hat{n}(\alpha_0,\beta_0)$- оптимальный объем выборки ;

$\Delta S_1 \nu$ - затраты на восстановление дефектных изделий до годного состояния;

$C_K(i-\nu)$ - затраты на компенсацию за бракованные изделия;

б) Принимается гипотеза H_1:

$C_1^*(\alpha,\beta)\hat{n}(\alpha_0,\beta_0)N_1$ - затраты на сплошной контроль оставшейся части партии ;

$\Delta C_1(\Delta S)N_2$ - затраты на восстановление N_2 дефектных изделий до годного состояния;

$C_K(i-\nu)$ - затраты на компенсацию за бракованные изделия.

Математические модели имеют следующий вид:

вариант 1:

$$\varepsilon(\alpha,\beta)=\eta_1^*(\alpha^*,\beta^*)f_k(\alpha,\beta)+\lambda_0+\lambda_\alpha\alpha+\lambda_\beta\beta,$$

где $\lambda_\alpha=\eta_1^*(\alpha^*,\beta^*)(1-x_i)$;

$\lambda_\beta=(\eta_K-\eta_s-\eta_1^*(\alpha^*,\beta^*))x_i$;

$\lambda_0=1+[\eta_1^*(\alpha^*,\beta^*)+\eta_s]x_i$

вариант 2:

$$\varepsilon(\alpha_0,\beta_0/x_i)=a_1(\alpha_0,\beta_0)+b_1(\alpha_0,\beta_0)x_i+[a_{01}(\alpha_0,\beta_0)+b_{01}(\alpha_0,\beta_0)x_i]L\left(x_i/\hat{n}(\alpha_0,\beta_0),\hat{k}_0(\alpha_0,\beta_0)\right)$$

где

$$a_{01}(\alpha_0,\beta_0)=-\left(\eta^* f(\alpha,\beta)+\eta_c\alpha\right)\left(1-\frac{\hat{n}(\alpha_0,\beta_0)}{N}\right),$$

$$b_{01}(\alpha_0,\beta_0)=\left(\eta_K(1-\beta)-\eta_c(1-\alpha-\beta)\right)\left(1-\frac{\hat{n}(\alpha_0,\beta_0)}{N}\right),$$

$$a_1(\alpha_0,\beta_0)=1+\eta^*\frac{\hat{n}(\alpha,\beta)}{N}+\left(\eta^* f(\alpha,\beta)+\eta_c\alpha\right)\left(1-\frac{\hat{n}(\alpha_0,\beta_0)}{N}\right),$$

$$b_1(\alpha_0,\beta_0)=\left[\eta_c(1-\alpha-\beta)+\eta_K\beta+\eta_s\frac{\hat{n}(\alpha_0,\beta_0)}{N}\right]\left(1-\frac{\hat{n}(\alpha_0,\beta_0)}{N}\right).$$

В этих моделях $\eta_1^*(\alpha^*,\beta^*)$, η_c, η_K, η_s - приведенные относительно технологической себестоимости стоимостные коэффициенты;

В обе математические модели входит функция влияния $f(\alpha,\beta)$ - учитывающая зависимость от вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода при контроле единичного изделия. Рассматриваются принципы построения этих функций, их особенности, свойства. В качестве таких функций используется следующие:

1. $f_1(\alpha,\beta) = e^{-\gamma_{\alpha 1}\left[(\alpha-\alpha^*)+\eta_{\gamma 1}(\beta-\beta^*)\right]}$ -экспоненциальная зависимость;

2. $f_2(\alpha,\beta) = \dfrac{1}{1+\gamma_{\alpha 2}[(\alpha-\alpha^*)+\eta_{\gamma 2}(\beta-\beta^*)]}$ - дробно-линейная;

3. $f_3(\alpha,\beta) = 1-\gamma_{\alpha 3}[(\alpha-\alpha^*)-\eta_{\gamma 3}(\beta-\beta^*)]$-линейная;

где $\gamma_{\alpha i}$, $\gamma_{\beta i}$, $i = \overline{1,3}$ -const; $\alpha \in [\alpha^*, \alpha_n]$-интервал изменения вероятности ошибки 1–го рода; $\beta \in [\beta^*, \beta_n]$-интервал изменения вероятности ошибки 2-го рода.

На рис.1 представлено поведение функций влияния $f_k(\alpha,\beta)$ в зависимости от α при фиксированных значениях β.

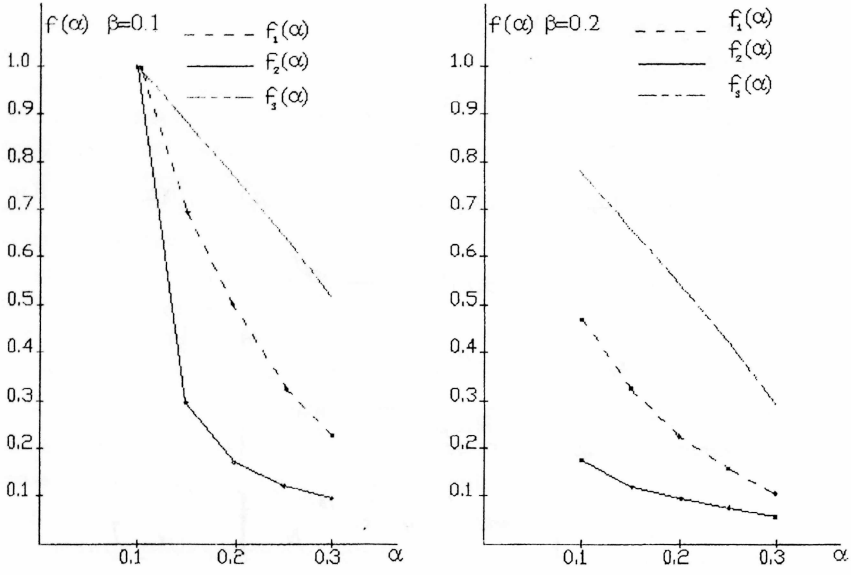


Рис.1. Поведение функций $f_k(\alpha,\beta)$ при фиксированных значениях β

Графическое изображение зависимости $\varepsilon_{1k}(\alpha,\beta)$, $k = \overline{1,3}$ в случае сплошного контроля для различных видов функций влияния показано на рис.2. при следующих исходных данных: N=2000, $x_i = 0.02$, $\alpha^* = 0.001, \alpha_k = 0.3, \beta^* = 0.01, \beta_k = 0.3, \eta^* = 0.4, \eta_K = 2, \eta_\gamma = 1, \eta_s = 0.5$.

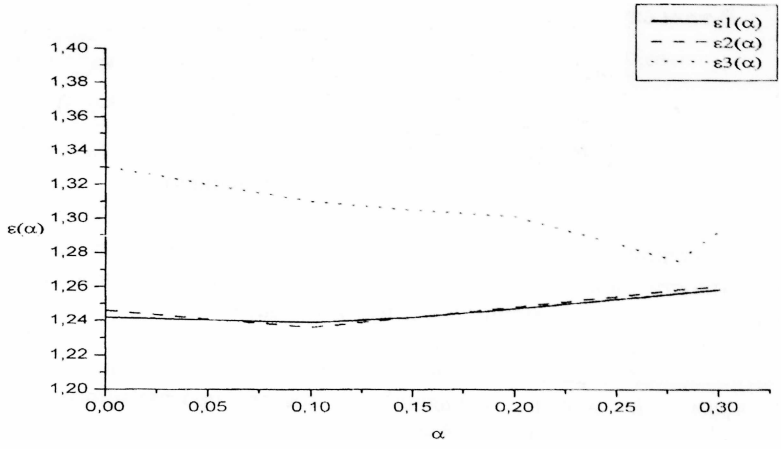


Рис.2. Графическое изображение зависимости $\varepsilon\ (\alpha, \beta)$ при различных f_k

Результаты численного эксперимента показывают, что все зависимости $\varepsilon(\alpha)$ имеют минимум. Оптимальное значение α меняется в зависимости от значения составляющих коэффициентов моделей и вида функции влияния $f_k(\alpha, \beta)$.

В случае гипергеометрического закона распределения, для построения модели использовалась кусочно-линейная аппроксимация функции оперативной характеристики, графическое представление этой функции показано на рис.3

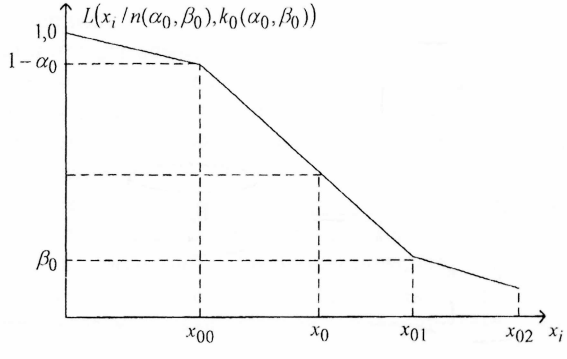


Рис.3. Аппроксимация оперативной характеристики

В этом случае модель имеет вид:

$$d(\alpha_0,\beta_0/x_i)=\begin{cases}(a_1(\alpha_0,\beta_0)+b_1(\alpha_0,\beta_0)x_i)+(a_{01}(\alpha_0,\beta_0)+b_{01}(\alpha_0,\beta_0)x_i)(1-k_1x_i), x_i \le x_{00},\\ (a_1(\alpha_0,\beta_0)+b_1(\alpha_0,\beta_0)x_i)+(a_1(\alpha_0,\beta_0)+b_1(\alpha_0,\beta_0)x_i)(1-\alpha_0-k_2(x_i-x_{00})), x_{00}<x_i \le x_{01},\\ (a_1(\alpha_0,\beta_0)+b_1(\alpha_0,\beta_0)x_i)+(a_{01}(\alpha_0,\beta_0)+b_{01}(\alpha_0,\beta_0)x_i)(\beta_0-k_3(x_i-x_{01})), x_{01}<x_i \le x_{02}\end{cases}$$

, где $a_1, a_{01}, b_1, b_{01}, k_1, k_2, k_3$ - расчетные коэффициенты.

Используя рассчитанные оптимальные значения ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода можно сформировать оптимальный план измерения при минимуме допустимых затрат.

Для решения задач планирования эксперимента и вычисления оптимальных ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го разработан программный модуль, входящий в состав программного пакета по планированию измерений и обработке результатов экспериментов.

В четвертой главе рассмотрены принципы построения программного пакета, основные алгоритмы, методика тестирования отдельных модулей. Схема функционирования модулей программного пакета представлена на рис.4.

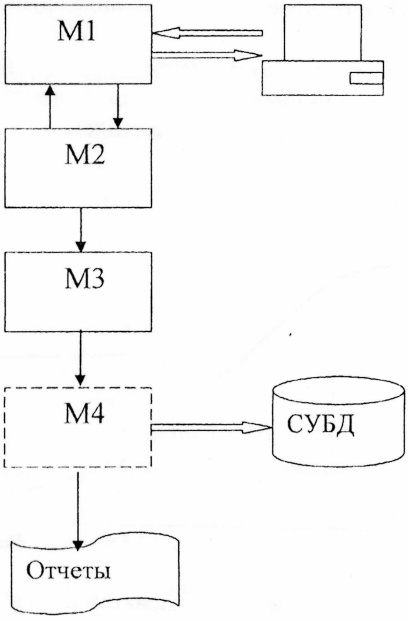


Рис.4. Схема функционирования модулей программного пакета

Программный пакет функционально состоит из четырех автономных модулей:

1. Подготовка и ввод исходных данных (М1).
2. Расчет оптимальных значений вероятностей $\alpha_{опт}$ и $\beta_{опт}$ (М2)
3. Расчет оптимального плана при контроле партии однотипных изделий для заданных ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода (М3).
4. Обработка результатов измерений. Формирование результата измерения. (М4)
5. Формирование отчетов.

Предложенный пакет программ позволяет решать комплекс задач, важных для производителя продукции.

В том числе:

- расчет оптимальных по экономическому критерию ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода;
- расчет параметров оптимального плана эксперимента с учетом выбранных значений α_0 и β_0 (для случая контроля по выборке);
- построение графика оперативной характеристики;

Для тестирования программного модуля были разработаны специальные алгоритмы и модуль тестирования, позволившие автоматизировать часть решаемых задач по тестированию пакета. Заложенный при проектировании программного продукта модульный принцип позволяет наращивать, в дальнейшем, его функциональность без переделки структуры комплекса. В комплекс заложены возможности работы в составе КИС (контрольно-измерительной системы).

Предполагается возможность съема информации с измерительных преобразователей через стандартные интерфейсы ПК (COM, USB) и работа вместе с базой данных заказчика для обработки накопленного статистического материала.

Для апробации предлагаемых моделей были проведены эксперименты с применением вычислительной техники, подтверждающие обоснованность применения моделей и алгоритмов, использующихся в рамках методики. В качестве контролируемых изделий исследовались элементы прецизионных выключателей и автоматов.

Результаты исследований приведены в пятой главе диссертационной работы. Исследован характер поведения кривых снижения затрат для различных вариантов функций (экспоненциальная, дробно-линейная, линейная). Приведены трехмерные графики поверхностей для этих функций. Представлены графические изображения поверхностей, отражающие взаимосвязь между ограничениями на вероятности ошибок первого и второго рода и величиной, возникающих в этом случае, приведенных затрат производителя. Расчеты производились для случаев сплошного контроля и

для случая контроля партии по случайной выборке. Для выбранных оптимальных значений ограничений α_0 и β_0 рассчитан план эксперимента.

Также были проведены исследования зависимости объема многократных измерений n от ограничений на вероятности ошибок α_0, β_0; выполнен анализ зависимости $\hat{\alpha}_0(\beta_0)$ от коэффициента компенсации за бракованное изделие η_k и от коэффициентов восстановления бракованных изделий η_s и η_c. Проанализировано влияние коэффициентов, участвующих в математической модели, на параметры оптимального плана и обоснование ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода.

Рассмотрено применение предложенных алгоритмов для оптимизации контроля партии автоматических выключателей производства ("Schneider Electric"), предназначенных для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях, перегрузках или недопустимых снижениях напряжения, а также для нечастых оперативных включений и отключений электрических цепей. При расчетах оптимальных ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода были использованы следующие исходные данные:

N=2000, $x_{00} = 0.01$, $x_{02} = 0.02$, $x_{00} = 0.015$, функция $f_1(\alpha, \beta)$ - показательная, $\alpha^* = 0.001, \alpha_k = 0.07, \beta^* = 0.01, \beta_k = 0.03, \eta^* = 0.15, \eta_K = 1$, $\eta_c = 0.1, \eta_\gamma = 1, \varepsilon = 0.01$.

При указанных исходных данных получены следующие результаты расчетов:

1. Сплошной контроль:

Оптимальные значения ограничений: $\hat{\alpha} = 0.061$, $\hat{\beta} = 0.029$, приведенные затраты на контроль единичного изделия $\varepsilon_1 = 1.015$.

2. Контроль с использованием однократной случайной выборки:

Оптимальные значения ограничений: $\hat{\alpha} = 0.08, \hat{\beta} = 0.1$, приведенные затраты на контроль единичного изделия $\varepsilon_1 = 1.003$.

По результатам расчетов следует, что в случае контроля по выборке величина приведенных затрат будет меньше чем в случае сплошного контроля при сохранении требований к эффективности контроля.

Параметры оптимального плана для этого варианта испытаний имеют вид: $\hat{n} = 536$ (объем выборки), $\hat{k} = 15$ (приемочное число).

3.ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1)Выполнен анализ существующих исследований в области метрологического обеспечения, связанных с оптимизацией контроля единичных и серийно выпускаемых изделий; дана оценка существующего состояния исследуемых вопросов и рассмотрена область применимости существующих методов к решению поставленных в диссертации задач.

2)Рассмотрены алгоритмы планирования измерений, применяемые при контроле партии однородных изделий; особенности построения решающих функций и соответствующих им оперативных характеристик для различных законов изменения случайной величины (гипергеометрический, пуассоновский).

3)Предложена математическая модель, описывающая затраты производителя при контроле в зависимости от ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода для случаев сплошного контроля и контроля изделий с использованием однократной случайной выборки, позволяющая оптимизировать контроль. Стоимостные коэффициенты, участвующие в моделях выражаются в долях от технологической себестоимости, что упрощает их определение и позволяет сформировать универсальную модель. На основе разработанных моделей создан программный пакет, позволяющий решать задачу планирования эксперимента, с использованием оптимальных (по экономическому критерию) значений ограничений на вероятности ошибок первого и второго рода α_0 и β_0 соответственно.

4)В рамках созданных математических моделей введено понятие функции влияния, учитывающей снижение приведенных затрат производителя с увеличением значений ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода. Исследовано поведение этих функций при различных исходных данных. Приведен алгоритм нахождения коэффициентов, входящих в описание функции влияния.

5) Разработан пакет программ, позволяющий решать задачи по определению оптимальных ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода, построению оптимальных планов измерений, обработке и анализу экспериментальных данных.

6) Произведен ряд экспериментов в ходе которых подтверждена обоснованность предлагаемых моделей. Результаты экспериментов были использованы на предприятии ООО “Эврика”, что подтверждено актом о внедрении.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих печатных работах:

1. Климачев Д.В. Разработка программы планирования измерительного допускового контроля с учетом систематической и случайной

погрешности СИ//Состояние и проблемы технических измерений: Тез. докл. Пятая всероссийская научно-техническая конференция. - М., 1998. - С.425

2. Климачев Д.В. Решение задачи планирования измерений при контроле геометрических параметров железнодорожных рельсовых нитей //Состояние и проблемы измерений: Тез. докл. Седьмая всероссийская научно-техническая конференция. – М., 2000. - С.133

3. Климачев Д.В. Разработка алгоритмов выбора оптимальных величин α_0 с учетом критерия минимизации затрат//Состояние и проблемы измерений: Тез. докл. Восьмая всероссийская научно-техническая конференция. - М., 2002. - С.24-25

4. Ростовцев А.М., Климачев Д.В. Методы и средства контроля геометрических параметров изделий из пластмасс в массовом производстве //Качество полимерных материалов и изделий. Инновации, сертификация, контроль: Тез. докл. Третья международная научно-практическая конференция. - Спб., 2003. - С.156-158

5. Климачев Д.В. Выбор ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода на основе критерия минимума затрат для случая сплошного контроля изделий//Чкаловские чтения: Тез. докл. Пятая международная научно-техническая конференция. - Чкаловск, 2004. - С.163-164

6. Назаров Н.Г., Климачев Д.В. Выбор ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода на основе критерия минимума затрат для случая сплошного контроля изделий//Техника и технология. – 2004. - №4. - С.22-25

7. Назаров Н.Г., Климачев Д.В. Выбор ограничений на вероятности ошибок 1-го и 2-го рода на основе критерия минимума затрат для случая контроля по выборке//Техника и технология. – 2004. - №4. - С.25-27

8. Риски производителя и потребителя в стоимостном представлении //Методы оценки эффективности сертификации/Ф.А.Амирджанянц, Б.С. Мигачев, Н.Г. Назаров, Е.И. Сычев. - М.: Логос, 2004. - С.25-32