

Шишкин Андрей Юрьевич

**Разработка методик многофакторного анализа технологических измерений
и проектирования параметров технологической линии при производстве
ракетно-космической техники.**

05.11.15. Метрология и метрологическое обеспечение.

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2007г.

Работа выполнена в Академии стандартизации, метрологии и сертификации

Научный руководитель (консультант)
кандидат технических наук, профессор АСМС Богомолов Юрий Алексеевич

Официальные оппоненты
доктор технических наук, профессор Кавалеров Гений Иванович
кандидат технических наук Комаров Владимир Всеволодович

Ведущая организация
ФГУП «Научно-производственное объединение «Техномаш»

Защита состоится 26 апреля 2007 года
по адресу: г. Москва, ул. Озерная, д. 46, комн. 1005

на заседании диссертационного совета ВНИИМС Д308.001.01

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВНИИМС

Автореферат разослан 23 марта 2007 года

Ученый секретарь диссертационного совета

д.т.н. Лысенко В.Г.

Общая характеристика работы.

1.Актуальность исследования.

В последние годы производство ракетно-космической техники стало оснащаться современным технологическим оборудованием, позволяющим производить изделия, имеющие высокостабильные выходные характеристики. Уровень технологических отклонений в этом случае составляет 4,5 – 5 Сигм по отношению к допускам.

Однако **метрологическое обеспечение и система измерений**, сложившиеся в отрасли к этому времени, оказались недостаточными для эффективной работы в этих условиях. В последние годы в ракетно-космической отрасли явно обозначилась ситуация, когда измерения параметра изделия, производимого на высокоточном оборудовании, вследствие высокой дисперсии результатов измерений по сравнению с фактической дисперсией технологических отклонений параметра, нарушают действительную картину значений параметра и, например, в случае измерительного контроля приводят к неверным выводам контролера о пригодности изделия по контролируемому параметру, а в случае измерений внутри технологической линии приводят к большому разбросу выходного параметра изделия и, как следствие, высокому проценту брака.

Попытки **модернизации метрологического обеспечения** путем внедрения новых **методик выполнения измерений (МВИ)**, предполагающих применение более точных средств измерений, потребовали значительного увеличения стоимости измерительных операций. И все равно не удалось достичь стабильности результатов измерений, соответствующей высокой стабильности выполнения технологической операции вследствие воздействия на результаты измерений влияющих факторов, не позволяющего снизить дисперсию результатов измерений ниже некоторого порога. Влияние этих факторов на производственном участке тем заметнее, чем меньше разброс

технологических отклонений и неустранимое без анализа влияния этих факторов.

В последнее время в ракетно-космической отрасли остро выдвинуто требование приведения в соответствие **метрологического обеспечения**, в частности, точности измерений внутри современных технологических линий и при техническом контроле - точности и стабильности выполнения технологических операций без привлечения дополнительных ресурсов и финансовых средств. Разработанные и предложенные автором методики многофакторного анализа технологических измерений и проектирования параметров технологической линии отвечают этим современным требованиям.

В связи с изложенным выше актуальность и важность диссертационной работы представляется очевидной.

2. Предмет и объект исследования.

Предметом исследования является **метрологическое обеспечение** технологических процессов производства ракетно-космической техники.

Объектом исследования являются **измерения технологических параметров** изделия при его изготовлении на автоматической технологической линии с малыми технологическими отклонениями и при техническом контроле.

3. Цели и задачи исследования.

Главной задачей исследования является существенное снижение величины **дисперсии результатов измерений** технологических параметров с целью обеспечения высокостабильных выходных характеристик изделий ракетно-космической техники и снижения рисков изготовителя без привлечения дополнительных финансовых ресурсов.. Для выполнения этой цели в исследовании реализуются следующие задачи:

анализ состояния технологических измерений при производстве ракетно-космической техники в условиях внедрения в производство высокоточных и высокостабильных технологических линий;

- выявление доминирующих по влиянию на результаты технологических измерений факторов посредством специального алгоритма дисперсионного анализа;

- синтез алгоритма поэтапной оптимизации условий измерений по заданным критериям показателей правильности и прецизионности (ГОСТ Р ИСО 5725-(1-6)-2002) результатов технологических измерений с учетом комплексного воздействия влияющих факторов;

- проектирование параметров функционирования технологической линии с целью выявления набора проектируемых параметров, при котором воздействие влияющих факторов (шум-факторов) на результаты измерений рабочих характеристик изделия будет минимальным.

4. **Методологическую и теоретическую основы исследования** составили научные труды отечественных и зарубежных авторов в области теоретической и прикладной метрологии, законодательной метрологии, автоматизации производства и технологии машиностроения, математической статистики и теории вероятностей.

5. **Информационную базу исследования** составили научные источники в виде данных из книг, статей, научных докладов и отчетов, производственных отчетов и научно-технических конференций предприятий ракетно-космической отрасли, нормативные документы в области метрологии, машиностроения а также результаты собственных расчетов и экспериментов автора.

6. **Научная новизна исследования** заключается в следующем.

Впервые автором поставлена принципиально новая проблема несоответствия высокой дисперсии результатов технологических измерений ничтожно малой дисперсии технологических отклонений на современном высокоточном производстве, предложены пути ее решения, которые осуществлены в условиях реального производства Космического Центра Хруничева.

Автор видит новизну исследования в том, что удалось доказать невозможность неограниченного снижения дисперсии технологических измерений только совершенствованием технических средств, улучшением точностных характеристик применяемых средств измерений.

Впервые автором разработаны новые методики оптимизации измерений технологических параметров изделий ракетно-космической техники – методика многофакторного анализа и методика проектирования параметров технологической линии.

На всех этапах исследования автор принимал непосредственное личное участие – лично собирал и обрабатывал данные результатов измерений технологических параметров, анализировал их, выявил проблему и предложил пути ее решения, разработал соответствующие методики оптимизации измерений и осуществил их реализацию.

7. Теоретическая значимость результатов исследования.

Полученные автором результаты исследования могут служить базой для дальнейших научных исследований, в частности, в качестве теоретической базы для разработок МВИ на основе новых предложенных автором подходов.

Научные приложения предложенных в диссертации методик заключаются в использовании и развитии их принципов в решении различных оптимизационных задач.

8. Практическая значимость исследования и апробация результатов исследования.

Результаты выполненного исследования и рекомендации, высказанные в работе, решением НТС Центра Хруничева рекомендованы к внедрению в производственных подразделениях ГКНПЦ им.М.В.Хруничева (Заключение научно-технического совета №525/14 от 07.04.2006г.).

Доклад «Методики оптимизации измерений при производстве и испытаниях ракетно-космической техники» был сделан автором на

расширенном научно-техническом совещании на космодроме «Байконур» 14.03.2006г.

Метрологической службой космодрома «Байконур» основные положения исследования рекомендованы к практическому использованию в подразделениях предприятий Роскосмоса.

9. Основные положения, выносимые на защиту.

На основе анализа данных измерительной информации автором доказана невозможность снижения дисперсии результатов технологических измерений на современном производстве ниже некоторого порога только совершенствованием применяемых средств измерений.

В целях снижения дисперсии результатов измерений технологических параметров изделий ракетно-космической техники автором разработана и осуществлена в условиях реального производства методика многофакторного анализа технологических измерений которая позволяет существенно снизить дисперсию результатов измерений технологических параметров без привлечения дополнительных финансовых средств.

Автором разработана и осуществлена методика проектирования параметров технологической линии, позволившая достичь высокой стабильности выходных параметров изделия на уровне 4,5- 4,8 сигма по отношению к допускам.

Структурно диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений и библиографического списка литературы.

Диссертация выполнена на кафедре законодательной метрологии Академии стандартизации, метрологии и сертификации по результатам экспериментальных и теоретических исследований, проведенных в ГКНПЦ им.М.В.Хруничева в период с 1999г. по 2005г.

Содержание работы.

В главе I дан анализ **метрологического обеспечения** современного производства ракетно-космической техники (РКТ) и ___решений оптимизационных задач измерений технологических параметров, их

особенности и недостаточность на современном производстве ракетно-космической техники (РКТ), характеризующимся малыми технологическими отклонениями.

Изменение общей концепции разработки, производства, испытаний и эксплуатации ракетно-космической техники потребовало серьезной модернизации их **метрологического обеспечения, включая значительное обновление парка рабочих и эталонных средств измерений и пересмотр методик выполнения измерений (МВИ).**

В связи с произошедшим скачкообразным. ростом точности и стабильности выполнения технологических операций на интенсивно внедряемом современном высокоточным и высокостабильном оборудовании, дисперсия этих отклонений становится сравнима или даже меньше **дисперсии результатов измерений** этого параметра. Имеет место ситуация, когда измерения параметров изделий, производимых на высокотехнологичном оборудовании, нарушают действительную картину значений этих параметров.

Оптимальные принципы сосуществования технологических отклонений и принятых точностей измерений оказываются нарушенными с ростом точности и стабильности изготовления узлов и деталей на новом высокоточном и высокостабильном технологическом оборудовании.

Много работ, подробно проанализированных в диссертации посвящено принципам подхода и предложено немало методов оптимизации измерений технологических параметров, в частности измерительного контроля. Но как показано в анализе , почти все они представляют концепцию организации оптимальной системы измерений, базирующейся на традиционно сложившемся к середине 90-х годов уровне технологии производства.

Однако с внедрением в последнее время в производство, особенно в передовых его отраслях, таких, как ракетно-космическая, высокоточных и высокостабильных технологических линий, эффективность применения традиционных методов оптимизации измерений технологических параметров становится все ниже.

.Таким образом, высокоточное и высокостабильное производство, где выход технологических параметров из заданных допусков практически исключен в силу высокой точности и стабильности выполнения технологических операций и отбраковка таких изделий по измеряемым параметрам и разброс значений выходных параметров в технологической линии происходит в силу ошибок контроля (при измерительном контроле) и искажения фактических значений параметров при измерениях в линии.

В главе 2 показана определяющая роль влияющих факторов на превышение дисперсии результатов измерений над дисперсией технологических отклонений на современном производстве РКТ.

В условиях внедрения высокоточного технологического оборудования в производство допуска могут устанавливаться лишь на период отладки технологического процесса, как предельные точки. Как только вариации процесса удастся снизить, установленные допуски можно сужать. Ценность этих усовершенствований состоит в их непрерывности. Действительно, наладив технологический процесс на более высоком уровне (по более жестким предельным точкам) мы вновь сужаем допуски - Y_H и Y_B , как указано на рисунке 2.1.

Трудность реализации этой концепции в условиях отечественного производства заключается в том, что при непрерывном движении по сужению допусков для рабочих характеристик на некотором этапе точность измерения рабочей характеристики перестает соответствовать точности выполнения технологической операции (рис 2.1).

Попытки внедрения новых методик выполнения измерений (МВИ), предполагающих применение более точных средств измерений, потребовали значительного увеличения стоимости измерительных операций. И все равно не удалось достичь стабильности результатов измерений, соответствующей высокой стабильности выполнения технологической операции вследствие воздействия на результаты измерений влияющих факторов. Влияние этих факторов на производственном участке тем заметнее, чем меньше разброс

технологических отклонений и неустранимое без анализа влияния этих факторов.

Действительно, применяя в этом случае новую МВИ с использованием более точного средства измерения мы не можем достигнуть дисперсии результатов измерений параметра меньше некоторой величины, обусловленной воздействием влияющих факторов. При таких точностях выполнения технологической операции устранение (минимизация) воздействия влияющих факторов становится необходимым и определяющим условием достижения сбалансированности точностей измерения параметра и выполнения технологической операции.

. Таким образом, для снижения дисперсии результатов технологических измерений необходимы разработка, внедрение и использование при измерительных операциях специальных методик, основанных на результатах анализа и учета влияющих факторов.

В главе 3 дано подробное описание алгоритма методики многофакторного анализа технологических измерений..

. Измерительные процессы в системе технического контроля и промежуточные измерения внутри автоматической технологической линии являются многофакторными производственно-технологическими процессами в условиях реального производства.

Как показано в работе весьма эффективной в исследовании этих измерений как многофакторной системы может стать методика, основанная на специальных алгоритмах обработки данных результатов измерений технологических параметров, предложенная автором и призванная существенно снизить дисперсию результатов технологических измерений, так называемая методика многофакторного анализа технологических измерений.

. Многообразие форм и механизмов воздействия влияющих факторов на результаты измерений велико. По существу точность (правильность и прецизионность) результатов измерений, несомненно, коррелирует с состояниями наличия или отсутствия этих факторов, и по большинству из них

является функцией набора состояний этих факторов, которые выступают в роли аргументов этой функции.

Вид этой функции F зависимости точности (правильности и прецизионности) от состояний влияющих факторов нам неизвестен. Мы можем лишь описать характер этой функции, систематизировать фрагменты ее проявления, используя данные результатов измерений технологических параметров. Считаем, что мы располагаем данными по измерениям, выполненными на производственном участке за много лет разными операторами, в разное время суток (года, месяца), различными экземплярами средств измерений и при других различающихся друг от друга условиях.

Обозначим через $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_c, \dots, \Phi_{cm}$ элементы множества состояний наличия (включенности) влияющих на результат измерений факторов, а через $\bar{\Phi}_1, \bar{\Phi}_2, \dots, \bar{\Phi}_c, \dots, \bar{\Phi}_{cm}$ элементы множества состояний отсутствия (отключенности) влияющих на результат измерений этих факторов.

Как было указано выше, показатели точности (правильности и прецизионности) результатов измерений зависят от наличия или отсутствия тех или иных влияющих факторов и зависимость эту можно обозначить в виде выражений:

$$\bar{y}_w = F_1(\Phi_1, \bar{\Phi}_1, \dots, \Phi_c, \bar{\Phi}_c, \dots, \Phi_{cm}, \bar{\Phi}_{cm}) \quad (1)$$

$$S_w = F_2(\Phi_1, \bar{\Phi}_1, \dots, \Phi_c, \bar{\Phi}_c, \dots, \Phi_{cm}, \bar{\Phi}_{cm}) \quad (2)$$

$cm = c \times m$, где c и m целые положительные числа

где \bar{y}_w - среднее арифметическое значение результатов измерений

S_w - стандартное отклонение результатов измерений

определяемые строго в ГОСТ Р ИСО 5725-2002 как

$$\bar{y}_w = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Y_k$$

$$S_w = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (Y_k - \bar{y}_w)^2}{N-1}}$$

а F_1 и F_2 обозначают функциональные зависимости точности (правильности и прецизионности) результатов измерений от состояний наличия или отсутствия влияющих факторов.

Нам важно отыскать такую систему аргументов $\Phi, \bar{\Phi}$ функций F_1 и F_2 , при которой сами функции F_1 и F_2 принимают требуемые, или близкие к требуемым значения.

Другими словами, требуется найти такую комбинацию состояний наличия или отсутствия влияющих на результат измерений факторов, при которой показатели точности (правильности и прецизионности) будут иметь требуемые значения среди всех возможных, нашедших свое отражение в статистической базе, комбинаций факторов. И что еще более важно, для многократного использования оптимизации, необходимо выбрать алгоритм для отыскания нужной комбинации состояний наличия и отсутствия влияющих факторов, правил и процедур, используя которые возможно определить наилучшие условия с точки зрения сокращения изменчивости измерительного процесса и повышения достоверности результатов технологических измерений. Первоначально рассмотрим C факторов из всей известной и доступной нам совокупности факторов, действующих на конкретном участке технического контроля и влияющих на результаты контрольных измерений.

Итак, сгруппируем C состояний наличия этих факторов и C состояний отсутствия этих факторов в группы по C элементов в каждой группе таким образом, чтобы на $1^{\text{й}}$ позиции в любой группе находилось состояние наличия фактора Φ_1 , либо состояние его отсутствия $\bar{\Phi}_1$; на $2^{\text{й}}$ позиции в любой группе находилось состояние наличия фактора Φ_2 , либо состояние его изменения (отсутствия) $\bar{\Phi}_2$ и так далее.

На $C^{\text{й}}$ позиции в любой группе будет находиться состояние наличия фактора Φ_c , либо состояние его изменения (отсутствия) $\bar{\Phi}_c$.

Г Р У П П А

$$\left(\underbrace{\Phi_1 \text{ или } \overline{\Phi_1}}_{1^{\text{я}} \text{ позиция}}, \underbrace{\Phi_2 \text{ или } \overline{\Phi_2}}_{2^{\text{я}} \text{ позиция}}, \dots, \underbrace{\Phi_c \text{ или } \overline{\Phi_c}}_{c^{\text{я}} \text{ позиция}} \right)$$

Очевидно, что количество K таких групп из всех возможных сочетаний будет равно $K = 2^c$.

Каждой группе из K групп факторов в нашей статистической базе данных будут соответствовать N результатов измерений.

Таким образом, из имеющейся статистической базы данных мы выбрали $K = 2^c$ групп результатов, в каждой группе содержится по N результатов измерений.

Полученная таким образом выборка данных представляет собой выборку результатов измерений, выполненных при различных условиях, соответствующих различным комбинациям влияющих факторов, полученных всеми возможными произвольными сочетаниями состояний наличия или отсутствия C факторов, выбранных для первоначального рассмотрения. Теперь эта выборка данных, состоящая из K групп по N результатов измерений в каждой группе, должна быть проанализирована с целью выбора из этих K групп, данных лишь одной группы с требуемыми (по критерию оптимизации) показателями точности (правильности и прецизионности).

.После проведенных расчетов величин показателей правильности и прецизионности в каждой из C групп результатов измерений, полученные значения должны быть проанализированы и в результате анализа должна быть выбрана одна группа данных, причем этой выбранной группе данных будет соответствовать своя группа влияющих факторов. Присвоим этой группе факторов номер L_1 . Очевидно, что $1 \leq L_1 \leq K$. Выбор указанной группы данных может производиться по различным критериям, в зависимости от того, какой целью задаться при оптимизации.

Итак, выбор группы результатов измерений сделан. Выбранную группу данных, представляющую собой часть всей статистической базы данных,

представленной к рассмотрению первоначально, назовем уточненной статистической базой результатов измерений первого этапа. Это, как было условлено в начале процесса оптимизации, довольно представительная статистическая база данных результатов измерений.

Особенностью уточненной статистической базы данных является то, что результаты измерений, составляющие ее, зависят от меньшего количества комбинаций состояний наличия или отсутствия влияющих факторов.

Уточненные функции влияния (1) и (2) примут более упрощенный вид:

$$\bar{y}_w = F_1 \Phi_{c+1}, \bar{\Phi}_{c+1}, \dots, \Phi_{cm}, \bar{\Phi}_{cm} \quad (3)$$

$$S_w = F_2 \Phi_{c+1}, \bar{\Phi}_{c+1}, \dots, \Phi_{cm}, \bar{\Phi}_{cm} \quad (4)$$

Следующим шагом будет проведение оптимизации уже на уточненной статистической базе первого этапа. Здесь мы уже рассматриваем C других факторов, которые не рассматривались на первом этапе, но которые влияют на изменчивость результатов измерений и которые входят в общее количество влияющих факторов $C \times M$.

.Дальнейший процесс, по существу, повторяет процедуры первых этапов.

Итак, в результате m^{20} этапа оптимизации мы получим пару значений правильности и прецизионности результатов измерений наиболее близкие к требуемым, соответствующие выбранной группе L_m по установленному в начале процесса критерию. Приведенная схема оптимизации (рис.3.1) довольно подробно иллюстрирует весь процесс.

Здесь следует сказать, что мы работаем в рамках решения задачи по снижению дисперсии результатов измерений, поэтому в качестве основного показателя будет выступать величина показателя прецизионности результатов измерений. В этом случае, выбор группы данных будет производиться по критерию максимального значения показателя прецизионности, соответствующего минимальному значению стандартного отклонения S_w группы результатов измерений.

Таким образом, в результате проведения m - этапной процедуры оптимизации мы получили оптимальный набор факторов, комплексное влияние которых на процесс измерений соответствует минимальному значению дисперсии результатов измерений.

В заключение хотелось бы отметить, что описанный алгоритм оптимизации многофакторного процесса технологических измерений может быть реализован на компьютере, что позволит обработать большие массивы статистических данных результатов измерений в более сжатые сроки.

В главе 4 раскрывается содержание методики проектирования параметров технологической линии с целью снижения дисперсии результатов технологических измерений.

Особенностью технологических измерений, в отличие от других измерений, является то обстоятельство, что их результаты зависят не только от традиционно рассматриваемых влияющих величин, таких как, температура окружающей среды, давление, влажность и т.д., но также и от параметров функционирования технологической линии. Предполагается, что эти параметры управляемы и могут быть заданы в некотором интервале. Назовем эти параметры проектируемыми параметрами.

Проектирование параметров технологической линии – это процесс установления таких значений параметров функционирования технологической линии из области допустимых, которые снизят чувствительность результатов измерений параметров изготавливаемого на ней изделия к источникам отклонений и в конечном итоге приведут к существенному снижению дисперсии результатов технологических измерений.

Сущностью проектирования параметров технологической линии является использование зависимостей результатов измерений (как правило, нелинейных) рабочих характеристик изделия от параметров функционирования технологической линии в целях уменьшения чувствительности результатов измерений к источникам отклонений. Поясним сказанное графиком на рис.4.1.

Предположим, что измеряемой рабочей характеристикой изделия является характеристика Y , погрешность измерения которой зависит от проектируемого параметра X технологической линии, причем среднее значение минимально достигнутого значения погрешности ΔY_0 соответствует значению проектируемого параметра X_0 . Вследствие влияния различных факторов (так называемых шум-факторов) на проектируемый параметр X , он сам будет изменяться в некотором интервале $[X_{01}; X_{02}]$, что вызовет дисперсию результатов измерений рабочей характеристики в довольно широких пределах $[Y_{01}; Y_{02}]$.

Однако если мы выберем в качестве рабочего значение параметра X_1 , то такие же по величине его отклонения вследствие воздействия шум-факторов вызовут существенно меньшую дисперсию результатов измерений рабочей характеристики в узких пределах $[Y_{11}; Y_{12}]$. Правда, в этом случае среднее значение погрешности измерения рабочей характеристики ΔY_1 будет больше первоначального ΔY_0 , однако подгонка среднего значения до заданного обычно гораздо более простая метрологическая задача, чем уменьшение дисперсии результатов измерений.

В каком-то смысле можно сказать, что управляя систематической составляющей погрешности результата технологических измерений, мы изменяем величину случайной составляющей погрешности результата измерений.

В практическом отношении важно выявить вначале наличие этой зависимости между проектируемым (изменяемым) параметром функционирования технологической линии и дисперсией результатов измерений. Тогда уже вторым шагом будет описание этой зависимости $Y = F(X, \mu)$ и обнаружение и использование участков нелинейности с целью оптимальной установки проектируемого параметра с точки зрения минимизации дисперсии (стандартного отклонения результатов измерений).

Для решения этих задач возможны два пути. Первый заключается в соответствующей обработке уже имеющихся данных результатов измерений на некотором производстве за некоторый достаточно продолжительный период, включая период отладки технологической линии.

Второй путь решения задачи выявления и описания зависимости значения погрешности результатов измерений от величины проектируемого параметра может быть использован в случае невозможности реализации первого пути. Это может быть при недостаточности статистической базы результатов измерений и невозможности отбора из нее групп для составления выборки по тем принципам, которые были изложены при описании первого пути решения задачи

Суть альтернативного решения задачи заключается в постановке статистически планируемого эксперимента, предполагающего активное вмешательство в функционирование технологической линии с целью получения необходимых данных с последующим выявлением и использованием зависимости дисперсии результатов измерений от проектируемых параметров..

.Проектируемые параметры – это те параметры функционирования технологической линии, которые могут быть изменены в интервалах допустимых значений в соответствии с эксплуатационной документацией на технологическую линию. Эксперимент предполагает также возможность систематического изменения либо самих шум-факторов, либо их заменителей. Обязательным условием эксперимента должно быть предварительное определение ключевых (доминирующих) влияющих факторов (шум-факторов) и введение их в эксперимент.

Цель предлагаемого эксперимента заключается в том, чтобы выявить такой набор значений проектируемых параметров, при которых воздействие на результат измерений шум-факторов будет минимальным.

Эти значения вычисляются в результате:

- систематического изменения набора значений проектируемых параметров в эксперименте;

- сравнения влияния шум-факторов для каждого цикла испытаний

Эксперимент по выбору параметров использует две матрицы: матрицу проектируемых параметров и матрицу шум-факторов.

Вторая матрица представляет комбинации из двух значений и трех шум-факторов. Каждый столбец представляет определенный шум-фактор W_1, W_2, W_3 , а строки – различные комбинации из двух уровней шум-факторов.

Всевозможные комбинации строк матрицы параметров и матрицы шум-факторов соответствуют полному эксперименту.

В каждом цикле испытаний одна строка матрицы параметров совмещается последовательно с каждой из восьми строк матрицы шум-факторов, так что для каждого цикла испытаний оценивается влияние восьми вариантов различных по уровню шумовых воздействий. Как видно из схемы, циклов испытаний всего девять. Результатом девяти циклов испытаний для каждого из восьми вариантов шумов является получение оценок результатов измерений рабочей характеристики ($Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_{72}$).

Отклонения полученных оценок результатов измерений рабочей характеристики от номинального значения характеризуют шумовые отклонения при данной совокупности значений параметров.

Множество данных наблюдений по каждому циклу испытаний матрицы параметров используется далее для вычисления критерия, так называемой характеристической статистики (performance statistik). В нашем случае в качестве характеристической статистики вполне может быть принята величина стандартного отклонения S_w результатов измерений Y_1, Y_2, \dots, Y_8 .

.Среди вычисленных значений стандартных отклонений необходимо выбрать минимальные для прогнозирования соответствующих им наилучших совокупностей значений проектируемых параметров. Для подтверждения прогноза эксперимент неоднократно повторяется при сохранении условий его проведения.

Другими словами, в результате реализации этой матричной схемы эксперимента, можно не находя самого вида зависимости дисперсии (стандартного отклонения) результатов измерений от значений проектируемых параметров, без построения всего графика этой зависимости, найти наиболее «горизонтальный» его участок, о чем говорилось в начале главы.

Таким образом, из всех возможных значений проектируемых параметров технологической линии мы выбрали наиболее оптимальную их комбинацию с точки зрения минимизации значения стандартного отклонения S_w результатов измерений контролируемого параметра Y изделия, производимого на этой технологической линии.

Обобщая изложенное, можно сказать, что используя предложенный алгоритм методики проектирования параметров технологической линии удастся достичь снижения величины дисперсии результатов измерений параметров изделия без привлечения дополнительных ресурсов.

Схематично механизм снижения стандартного отклонения результатов измерений контролируемого параметра путем проектирования параметров технологической линии показан на рис.4.2.

Заключение.

Выводы.

.Метрологическое обеспечение и система измерений, сложившиеся в ракетно-космической отрасли в последнее время, оказались недостаточными для эффективной работы в условиях внедрения в производство высокоточных и высокостабильных технологических линий, прежде всего в силу несоответствия точности результатов измерений высокой точности выполнения технологических операций. В последние годы в ракетно-космической отрасли явно обозначилась ситуация, когда измерения параметра изделия, производимого на высокоточном оборудовании, вследствие высокой дисперсии результатов измерений по сравнению с фактической дисперсией технологических отклонений параметра, нарушают действительную картину значений параметра и, например, в случае измерительного контроля приводит к

неверным выводам контролера о пригодности изделия по контролируемому параметру, а в случае измерений внутри технологической линии приводит к большому разбросу выходного параметра изделия и, как следствие, высокому проценту брака.

Для исключения негативных последствий этой ситуации разрабатываются более совершенные методики выполнения измерений (МВИ), использующие в первую очередь более точные средства измерений и обеспечивающие некоторое уменьшение дисперсии результатов измерений. Однако при этом повышаются затраты на измерения, что противоречит экономическим соображениям. В работе показано, что и при этом не удастся снизить дисперсию ниже некоего порога, обусловленного наличием влияющих факторов, присущих технологическим измерениям, и тем более заметного, чем меньше разброс технологических отклонений параметров изделия. Доказана невозможность снижения дисперсии результатов технологических измерений ниже некоторого порога только совершенствованием средств измерений.

Достичь необходимого снижения дисперсии результатов измерений в этих условиях возможно лишь путем анализа влияющих факторов с последующей минимизацией их влияния.

Результаты.

Выполненный автором анализ этих факторов с последующей минимизацией их влияния посредством научно обоснованных методик многофакторного анализа и проектирования параметров технологической линии позволил решить проблему, притом без привлечения дополнительных средств и ресурсов.

Применяемые на производстве комплексно методики многофакторного анализа и проектирования параметров технологической линии позволили существенно снизить величину дисперсии результатов измерений контролируемых параметров без увеличения затрат на измерения.

Этот факт сам по себе весьма значим на современном производстве с высокостабильным и высокоточным оборудованием, так как позволяет перейти на качественно новый уровень стабильности выходных характеристик изделия.

Кроме того, предлагаемые автором методики позволили заметно снизить риск изготовителя. В самом деле, согласно рекомендаций РМГ 29-99, п.11.3 «нормальная область значений влияющей величины – это область значений влияющей величины, в пределах которой изменением результата измерений под ее воздействием можно пренебречь в соответствии с установленными нормами точности». В случае технологических измерений эти установленные нормы задаются в технологической документации. В свою очередь разработчики технологической документации руководствуются уже достигнутым минимальным уровнем влияния влияющих факторов на результат измерений, а, следовательно, и технологической операции, причем в этом случае рассматривается каждый влияющий фактор в отдельности, без учета комплексного воздействия факторов.

Снижая посредством методик многофакторного анализа и проектирования параметров величину влияния этих факторов на результат измерений, выражающемуся в снижении их величины стандартного отклонения, мы тем самым создаем предпосылки возможности для установления разработчиками ТД более узких (жестких) норм на точность измерений, что, как известно, будет соответствовать меньшим рискам изготовителя. И эти снижения рисков можно количественно оценить, используя, например, алгоритмы метода имитационного моделирования [29-34].

Рекомендации.

Методики многофакторного анализа технологических измерений и проектирования параметров технологических измерений целесообразно использовать прежде всего при усовершенствовании технологических процессов производства ракетно-космической техники. Наиболее эффективно

их применение во внутритехнологических измерениях параметров изделия в современных высокоточных и высокостабильных технологических линиях.

Методика многофакторного анализа может быть успешно применена при измерениях в системе технического контроля предприятия, так как это позволит существенно снизить риск изготовителя.

Кроме того, методики многофакторного анализа и проектирования параметров технологической линии могут быть с успехом использованы помимо ракетно-космической и в других отраслях промышленности, где все более широкое применение находят высокоточные технологии. Разработанные на основе данных результатов измерений технологических параметров в ракетно-космической отрасли, методики в части своего применения имеют универсальный характер.

Предложенные автором методики многофакторного анализа и проектирования параметров технологической линии рекомендованы научно-техническим советом (№525/14 от 07.04.2006г.) к внедрению в производственных подразделениях Космического Центра Хруничева.

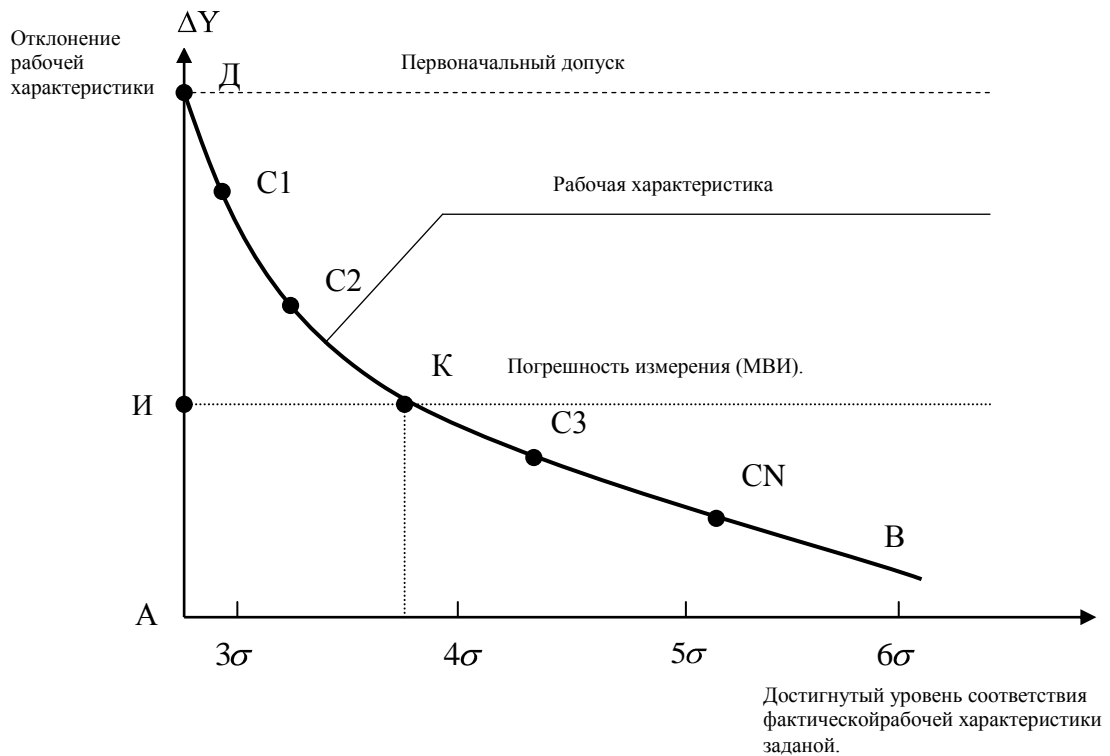
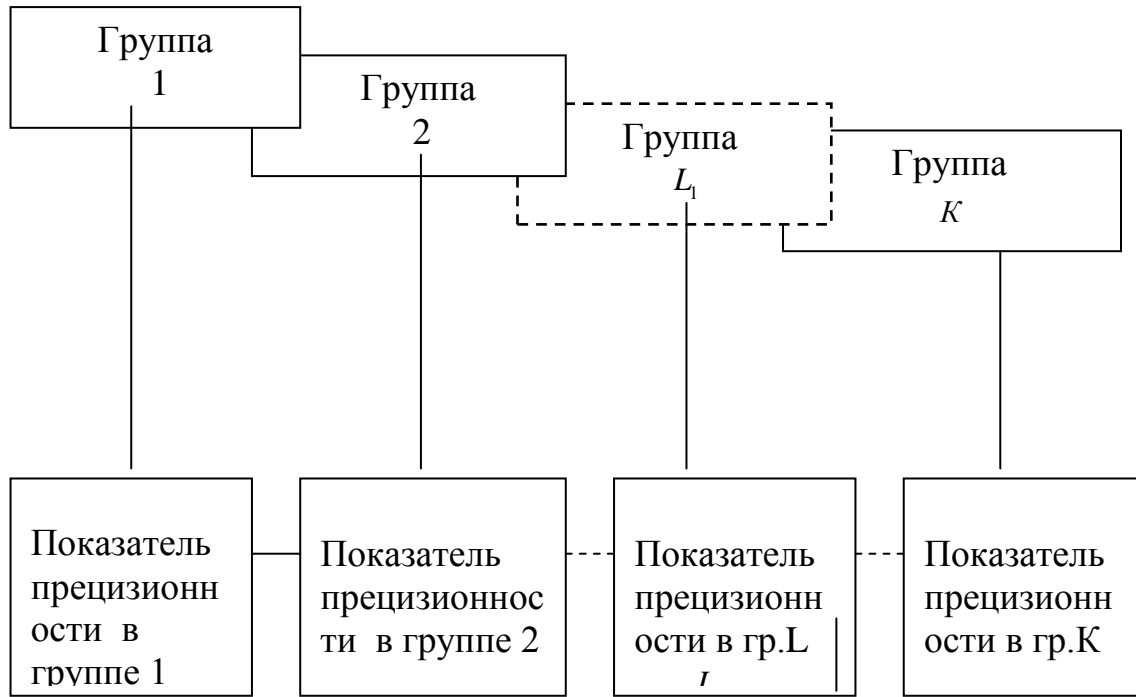


Рисунок 2.1. Динамика снижения отклонения рабочей характеристики изделия от номинального значения

- ΔY - отклонение рабочей характеристики от номинального (заданного) значения
- σ - стандартное (среднеквадратическое) отклонение
- K - критическая точка
- $C1, C2, C3...CN$ - точки, используемые для отладки технологической линии.

Рис.3.1.Схема
сбора и обработки данных результатов измерений.
Этап 1



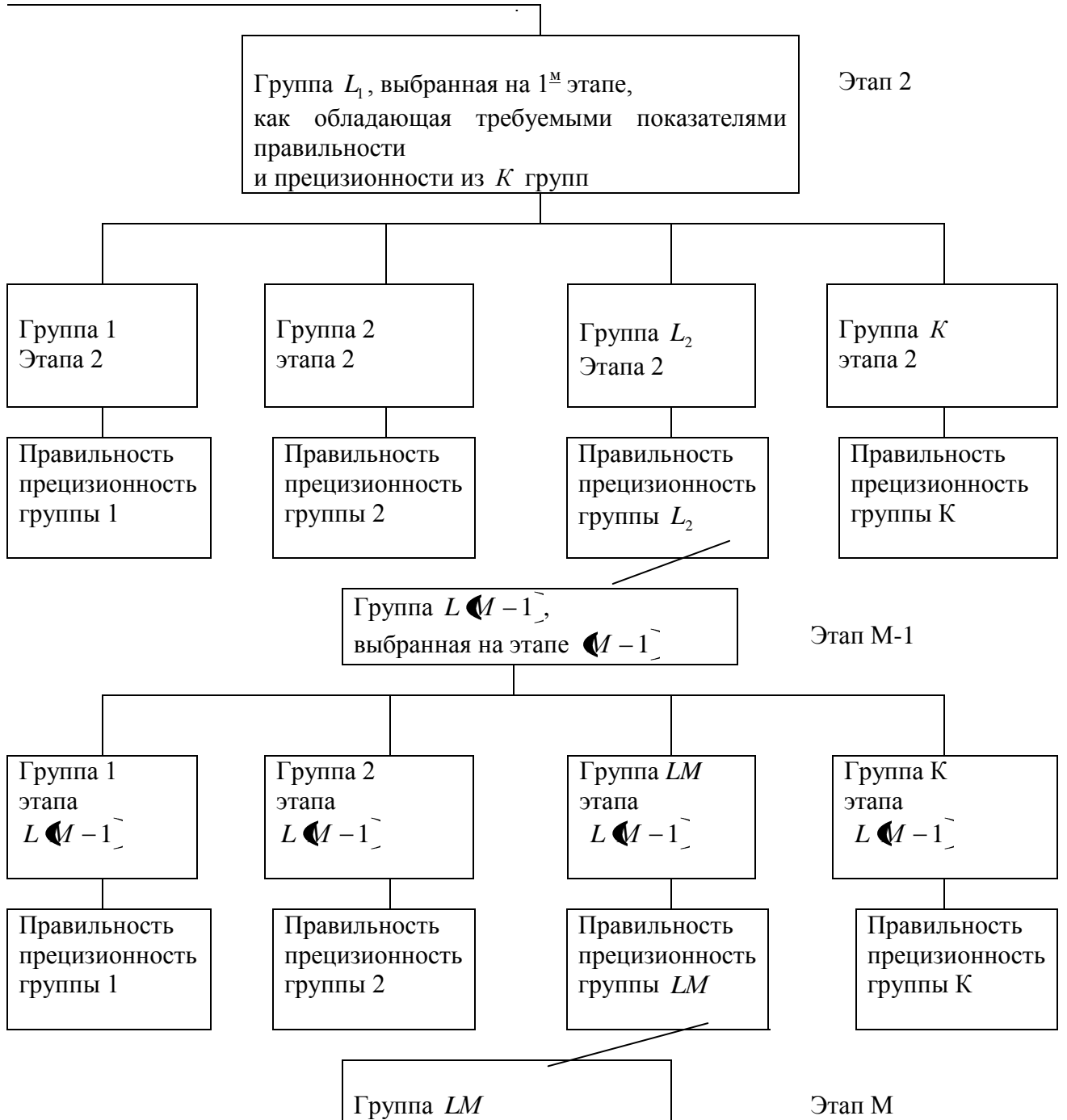
K - количество исследуемых групп

N - количество измерений в одной группе

на стр.23



Продолжение схемы сбора и обработки данных.
с этапа 1



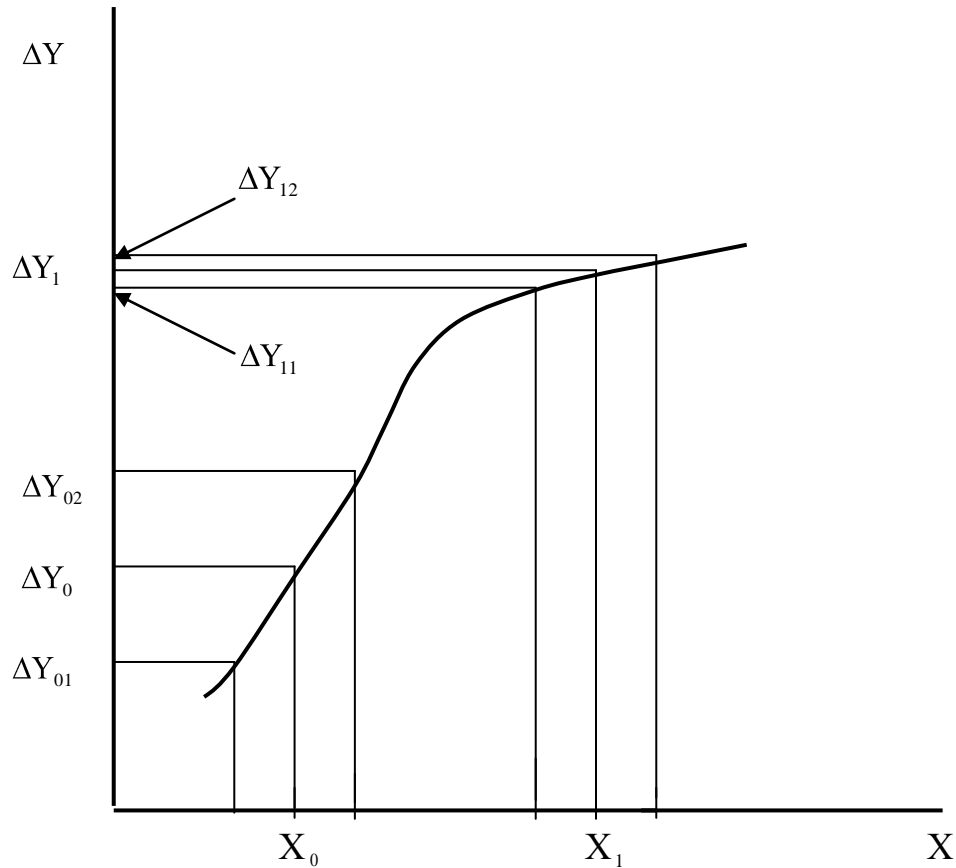


Рис.4.1.

Зависимость погрешности ΔY результата измерений рабочей характеристики Y от величины проектируемого параметра X .

ΔY_0 – среднее значение минимально достигнутой погрешности результата измерений, вызванное влиянием проектируемого параметра X номинальной величиной X_0 .

X_0 – номинальное значение проектируемого параметра X .

- ΔY_1 – среднее значение погрешности результата измерений рабочей характеристики Y , вызванное влиянием проектируемого параметра X величиной X_1 .

X_1 – выбранное (оптимизированное) значение проектируемого параметра

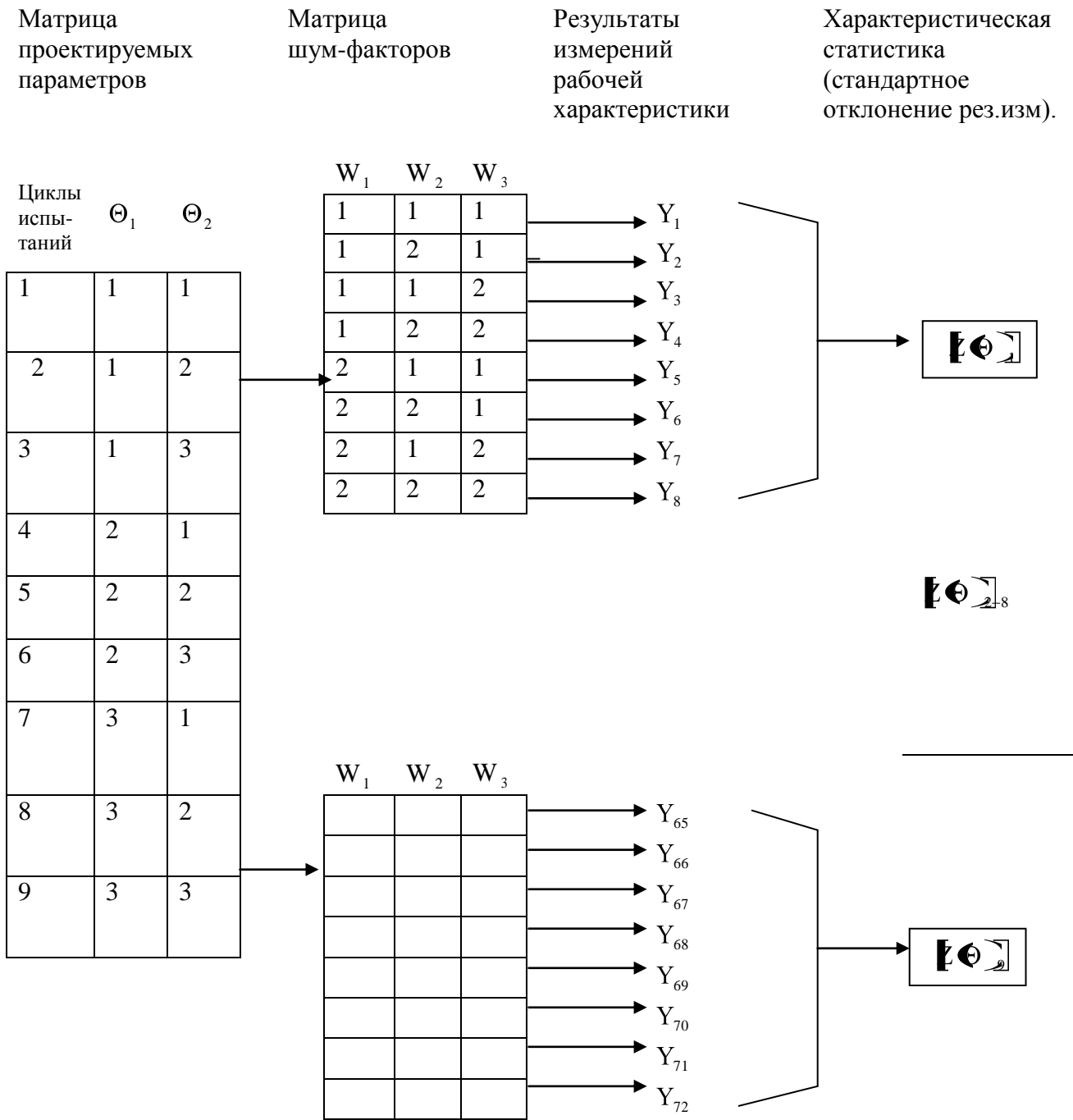


Рис.4.2. Схема эксперимента проектирования параметров

Θ_1, Θ_2 – проектируемые параметры

1,2,3 – здесь уровни проектируемых параметров, соответствующие $\Theta^1, \Theta^2, \Theta^3$.

W_1, W_2, W_3 – шум-факторы с уровнями «1» и «2».

Список публикаций автора по исследуемой проблеме.

- А) Проблемы измерений в системе технического контроля промышленного предприятия. – Компетентность, №5, 2004.
- Б) Анализ состояния измерений при техническом контроле параметров изделий в промышленности. – Приборы +автоматизация, №12, 2004.
- В) Эффективность работы метрологической службы. – Компетентность, №4, 2005.
- Г) Точность измерений параметров рабочей характеристики изделия в условиях непрерывности улучшений технологического процесса. – Приборы +автоматизация, №6, 2005.
- Д) Проектирование параметров технологических измерений. – Компетентность, №10, 2005.
- Е) Анализ факторов, влияющих на результаты технологических измерений, и оптимизация их выполнения. – Приборы +автоматизация, №12.2005.
- Ж) Проектирование параметров технологической линии. – Измерительная техника, №2, 2007г.