

61:07-5/1621

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МАТИ»-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО

На правах рукописи

БОРЗОВ ВИТАЛИЙ ИГОРЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ
ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НЕСООТВЕТСТВИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ
ПРОЦЕССЕ**

Специальность: 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., профессор
ВАСИЛЬЕВ
Виктор Андреевич

МОСКВА 2006

СОДЕРЖАНИЕ:

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПРИНЦИПОВ И МЕТОДОВ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	10
1.1. Современные принципы концепции «Всеобщего управления качеством» (TQM).....	10
1.2. Корректирующие и предупреждающие действия.....	20
1.3. Методы и инструменты менеджмента качества	22
технологических процессов	22
1.3.1. Статистические методы.....	22
1.3.2. Аналитические методы	24
1.4. Метод анализа видов и последствий отказов (FMEA)	26
1.5. Методика проведения FMEA-анализа.....	30
1.6. Выводы по главе 1	36
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НЕСООТВЕТСТВИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ	37
2.1. Анализ компонентов и декомпозиция технологического процесса	37
2.2. Анализ технологических операций и построение блок-схемы их взаимодействия, основанной на разработанной модели технологической операции с блоком анализа потенциальных несоответствий	39
2.3. Анализ и определение потенциальных несоответствий в технологических операциях, причин и последствий их возникновения с помощью разработанной модели анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции.....	41
2.3.1. Разработка математического алгоритма описания модели анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции.....	44

2.4. Анализ и оценка последствий возникновения потенциальных несоответствий в соответствии со степенью их критичности в рамках исследуемого технологического процесса	46
2.5. Разработка предупреждающих действий по устранению исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе ...	49
2.6. Выводы по главе 2	52
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ НА ПРИМЕРЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ TiN ПОКРЫТИЙ	53
3.1. Анализ компонентов и декомпозиция технологического процесса нанесения TiN покрытий	53
3.2. Анализ технологических операций процесса нанесения TiN покрытий и построение блок-схемы их взаимодействия, основанной на разработанной модели технологической операции с блоком анализа потенциальных несоответствий	55
3.3. Анализ и определение потенциальных несоответствий, причин и последствий их возникновения в технологических операциях процесса нанесения TiN покрытий с помощью разработанной модели анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях	57
3.4. Анализ и оценка последствий возникновения потенциальных несоответствий в соответствии со степенью их критичности в технологическом процессе нанесения TiN покрытий	62
3.5. Разработка предупреждающих действий по устранению исходных причин потенциальных несоответствий в операциях технологического процесса нанесения TiN покрытий	65
3.6. Выводы по главе 3	69
ГЛАВА 4. РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НЕСООТВЕТСТВИЙ В ООО НТЦ «СИЛАТЭ»	70

4.1. Технологии нанесения покрытий в ООО НТЦ «СИЛАТЭ»	70
4.2. Анализ и предупреждение возникновения потенциальных несоответствий в комплексном технологическом процессе нанесения многослойных защитно-декоративных покрытий	73
4.2.1. Анализ компонентов и декомпозиция комплексного технологического процесса нанесения многослойных защитно-декоративных покрытий	73
4.2.2. Анализ технологических операций комплексного технологического процесса нанесения многослойных защитно-декоративных покрытий и построение блок-схемы их взаимодействия	80
4.2.3. Анализ и определение потенциальных несоответствий, причин и последствий их возникновения в технологических операциях комплексного технологического процесса нанесения защитно-декоративных покрытий	85
4.2.4. Анализ и оценка последствий возникновения потенциальных несоответствий в соответствии со степенью их критичности в технологических операциях комплексного технологического процесса нанесения защитно-декоративных покрытий	101
4.2.5. Разработка комплекса предупреждающих мероприятий по устранению исходных причин потенциальных несоответствий в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий	113
4.3. Выводы по главе 4	126
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	127
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	129
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	138

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Одной из важнейших задач для любого предприятия является повышение качества своей продукции и процессов её изготовления. В 2002 году в Российской Федерации был принят Федеральный закон «О техническом регулировании» [1], основным обязательным требованием которого стало обеспечение безопасности продукции и процессов её изготовления для здоровья и жизни потребителей. В связи с этим возникла необходимость применения на предприятиях инструментов, позволяющих повысить уровень безопасности при изготовлении своей продукции. Источником возникновения опасности для внешних потребителей являются несоответствия в готовой продукции, которые возникают из-за несоответствий в процессах изготовления продукции. В свою очередь, несоответствия, возникающие в процессах изготовления продукции, являются источниками опасности для внутренних потребителей (сотрудников предприятия).

Главным процессом в деятельности любого промышленного предприятия является процесс производства, основной частью которого являются технологические процессы. Именно в технологических процессах происходит возникновение большинства несоответствий на предприятиях вследствие сложности их организации и устройства. Поэтому следует, в первую очередь, устранять несоответствия в технологических процессах.

Наиболее эффективным способом устранения несоответствий является предупреждение их возникновения. Предупреждающие действия, в отличие от корректирующих, направлены на предотвращение возникновения потенциальных, ещё не появившихся несоответствий. Они являются одним из наиболее важных компонентов менеджмента качества, так как позволяют своевременно предупреждать возникновение несоответствий, а не исправлять уже случившиеся.

Существует большое количество методов и инструментов менеджмента качества, предназначенных для управления качеством технологических

процессов. Однако целью большинства из них является устранение фактических несоответствий путём корректировки показателей технологических процессов с использованием методов математической статистики. Эти методы не учитывают возможности появления потенциальных, ранее не проявлявшихся несоответствий, они сложны в освоении и применении на предприятии. Одним из наиболее известных и эффективных методов менеджмента качества, способных своевременно решать проблему потенциальных несоответствий в технологическом процессе, является метод анализа видов и последствий отказов (FMEA). Однако в методике проведения FMEA-анализа существует ряд недостатков: излишняя формализованность, недостаточная наглядность и трудоёмкость расчёта показателей. В связи с этим, возникает необходимость разработки методики, базирующейся на методике проведения FMEA-анализа, которая обеспечивала бы своевременное выявление потенциальных несоответствий в технологическом процессе, определение их причин и последствий и разработку комплекса предупреждающих мероприятий по предотвращению их возникновения.

Целью диссертационной работы является повышение качества технологического процесса за счёт своевременного определения и оперативного устранения причин потенциальных несоответствий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ современных принципов, методов и инструментов менеджмента качества и определить роль предупреждающих действий в повышении качества процессов в организации;
2. Сформировать алгоритм разрабатываемой методики анализа и предупреждения потенциальных несоответствий в технологическом процессе;
3. Разработать модели технологической операции с блоком анализа потенциальных несоответствий и анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции;

4. Разработать комплекс предупреждающих мероприятий для устранения причин потенциальных несоответствий в технологическом процессе;
5. Проверить адекватность разработанной методики в технологическом процессе.

Объект исследования.

Комплексный технологический процесс.

Предмет исследования.

Потенциальные несоответствия в технологических операциях, причины и последствия их возникновения; степень критичности последствий и устранение причин потенциальных несоответствий в технологических операциях.

Методы исследования.

Теоретическое обоснование разработанной методики базируется на применении в работе известных методов и подходов в области менеджмента качества: метода FMEA и методики проведения FMEA-анализа, инструментов управления и контроля качества, процессного подхода, предупреждающих действий. Достоверность и обоснованность применяемых методов и подходов подтверждается их широким использованием в различных сферах деятельности.

Научная новизна работы:

- 1) Разработана методика анализа и предупреждения потенциальных несоответствий в технологическом процессе, позволяющая определять, наглядно представлять и своевременно предупреждать несоответствия в технологическом процессе с помощью комплекса разработанных мероприятий;
- 2) Разработана модель технологической операции, базирующаяся на принципе процессного подхода и включающая блок анализа потенциальных несоответствий;
- 3) Разработана модель анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции, основанная на интеграции инструментов управления и контроля качества и отличающаяся возможностью определения потенциальных несоответствий, причин и последствий их

возникновения с проведением экспертной оценки последствий на основе разработанного критерия тяжести последствий возникновения несоответствий.

Практическая значимость работы:

1. Проведена апробация разработанной методики, позволяющей выявлять и оперативно устранять потенциальные несоответствия в технологическом процессе;
2. Разработана модель технологической операции, которая позволяет определять факторы возникновения причин потенциальных несоответствий и возможные места проявления последствий потенциальных несоответствий;
3. Разработана модель анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции, позволяющая:
 - определять все виды несоответствий;
 - группировать и определять причины возникновения несоответствий;
 - определять и оценивать степень критичности последствий возникновения несоответствий.
4. Разработан комплекс предупреждающих мероприятий, направленный на устранение причин потенциальных несоответствий и минимизацию вероятности их возникновения в технологическом процессе.

Реализация работы.

Разработанная методика анализа и предупреждения потенциальных несоответствий реализована в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий на металлические изделия сложной формы ООО НТЦ «СИЛАТЭ».

Результаты данной работы используются в учебном процессе в ГОУ ВПО «МАТИ»-Российском государственном технологическом университете имени К.Э. Циолковского при подготовке специалистов по специальности «Управление качеством».

Апробация работы.

Результаты диссертационной работы докладывались на Международной молодёжной научной конференции «XXIX Гагаринские чтения» (Москва, апрель 2003 г.); третьей Всероссийской научно-практической конференции «Применение ИПИ-технологий в производстве» (Москва, октябрь 2005 г.); пятой Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством» (Москва, март 2006 г.).

Публикации по теме исследования.

Результаты диссертационной работы легли в основу 10 публикаций. Список публикаций приведён в конце автореферата.

Структура и объём диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, общих выводов, списка литературы, включающего 106 источников. Работа изложена на 128 страницах машинописного текста, содержит 56 рисунков, 14 таблиц, 1 приложение.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПРИНЦИПОВ И МЕТОДОВ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.1. Современные принципы концепции «Всеобщего управления качеством» (TQM)

Российская Академия проблем качества сформулировала концептуальное определение качества, в соответствии с которым качество является одной из основополагающих категорий, определяющих образ жизни, социальную и экономическую основу для успешного развития человека и общества [2]. Такая формулировка чётко определяет значимость деятельности по совершенствованию качества, но является слишком ёмкой и не даёт представления о сути самого понятия «качество».

В среде специалистов по проблемам качества существует большое число определений этой категории. Ещё в 1968 г. было выявлено более 100 различных трактовок, и с тех пор их число только увеличилось. Это разнообразие связано с многоаспектностью категории качества. Большинство трактовок было обобщено Международной организацией по стандартизации (ИСО) в стандарте ISO 8402 «Менеджмент качества и обеспечение качества. Словарь», определяющем качество как «совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности» [3]. Наиболее актуальным определением понятия «качество» является определение российского стандарта ГОСТ Р ИСО 9000-2001 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь», в котором под качеством понимается «степень соответствия присущих характеристик требованиям» [4].

Понятие «качество» может относиться к продукции, услугам, процессам, системам и т.д. Независимо от того, какой объект подразумевается в том или ином случае, качеством необходимо управлять. Управление качеством исторически зародилось очень давно, однако серьёзные научные изыскания в этой

области начались только в XX веке. В результате научных исследований в 70 гг. была сформулирована концепция TQM – Всеобщего управления качеством [5-48]. Концепция TQM стала высшей ступенью развития идеологии качества. TQM представляет собой интегрированный метод менеджмента организации, целиком ориентирующий её деятельность на полную удовлетворённость потребителей (как внешних, так и внутренних) и сотрудников, охватывающий все процессы организации, вовлекающий в деятельность по непрерывному улучшению качества всех её сотрудников и направленный на достижение долговременного успеха и стабильности функционирования организации [48]. ISO 8402 [3] следующим образом трактует понятие TQM: «Всеобщее руководство качеством – подход к руководству организацией, нацеленный на качество, основанный на участии её членов и направленный на достижение долгосрочного успеха путём удовлетворения требований потребителя и выгоды для членов организации и общества». Целью внедрения TQM на предприятии является достижение долгосрочных положительных изменений на предприятии, повышение эффективности его работы, достижение успеха на рынке, получение максимальной прибыли и увеличение капитализации акций предприятия. Имеются многочисленные данные, показывающие, что TQM оказывает решающее воздействие на эффективность производства. Например [48], исследование курсов акций шести победителей премии США по качеству показало, что TQM существенно влияет на прибыль предприятия и рост курса его акций. Каждый вкладчик (инвестор), вложивший в период с 1988 г. по 1994 г. 1000 долларов США в акции предприятий, которые впоследствии стали победителями ежегодных премий по качеству, смог получить до сентября 1994 г. курсовую прибыль, равную 99 % от стоимости акций, в то время как «средний» вкладчик получил за тот же период только 41,9 % от средней стоимости акций промышленных предприятий, входящих в расчёт индекса акций Dow Jones. Анализ показателей эффективности производства на предприятиях, внедривших TQM по сравнению с предприятиями, использующими традиционные формы управления, также показывает, что применение модели TQM значительно

уменьшает долю несоответствующей продукции и существенно увеличивает количество удовлетворённых потребителей.

Концепция «Всеобщего управления качеством» базируется на восьми принципах [2]:

1. **Ориентация на потребителя.** В условиях рыночной экономики успешность бизнеса всецело определяется правильностью понимания потребностей рынка, поэтому любая организация должна выполнять запросы потребителей и стремиться превзойти их ожидания. Организация, применяющая концепцию TQM, должна систематически собирать и анализировать информацию, поступающую из самых различных источников и позволяющую получать обоснованные выводы относительно текущих и потенциальных потребностей как отдельных потребителей, так и рыночных сегментов и рынка в целом. Необходимым условием Всеобщего управления качеством является распространение информации по всей организации.

Принцип ориентации на потребителя основан на следующих действиях:

- изучение спроса с целью понимания потребностей и ожиданий потребителя в отношении товаров, цен, поставки и т.д.;
- обеспечение сбалансированности в запросах потребителей и других участников сделки с товарами (собственников бизнеса, персонала организации, поставщиков организации, общества);
- измерение потребительской удовлетворённости с целью коррекции собственной деятельности;
- управление взаимоотношениями с потребителями.

2. **Лидерство руководителя.** Руководители организации должны создать в организации такой микроклимат, при котором сотрудники будут максимально вовлечены в процесс достижения поставленных целей.

Принцип главенствующей роли руководства претворяется в следующем:

- активность поведения;
- понимание и реагирование на изменения внешней среды;

- принятие во внимание потребностей всех участников сделок – владельцев, потребителей, персонала организации, поставщиков, общества;
- создание ясного видения перспектив организации;
- определение целей и реализация стратегии для достижения целей;
- установление разделяемых всеми ценностей и этических принципов на всех уровнях организации;
- создание атмосферы доверия и искоренение страха в организации;
- обеспечение персонала необходимыми ресурсами и полномочиями в действиях с осознанием ответственности;
- вдохновение и поощрение персонала, оценка вклада каждого сотрудника в общее дело;
- создание условий для открытых и честных коммуникаций;
- обучение персонала, наставничество.

3. **Вовлечение работников.** Весь персонал – от высшего руководства до рядового сотрудника – должен быть вовлечён в деятельность по управлению качеством. В концепции TQM персонал рассматривается как главный ресурс организации, которая должна создать все условия для максимального использования его творческого потенциала. Принцип вовлечения всех работников заключён в следующем:

- принятие на себя ответственности за решение проблем;
- активный поиск возможностей улучшений;
- активный поиск возможностей повышения профессионализма;
- добровольная передача знаний и умений в коллективах;
- ориентация на создание ценности для потребителя;
- рационализаторство и творчество;
- лучшее представление организации потребителям и обществу;
- энтузиазм и гордость работников от сознания того, что они являются частью организации.

При полной вовлечённости сотрудников достигается синергический эффект, при котором совокупный результат коллективной работы существенно превосходит сумму результатов отдельных исполнителей.

4. **Процессный подход.** Для достижения наилучшего результата соответствующие ресурсы и деятельность, в которую они вовлечены, необходимо рассматривать как процесс. Процессная модель организации содержит совокупность бизнес-процессов, участниками которых являются все звенья и элементы организационной структуры управления. При этом под бизнес-процессом понимают совокупность различных видов деятельности, вместе создающих результат, имеющих ценность для самой организации и потребителя. Бизнес-процессы реализуются посредством выполнения бизнес-функций. Существуют следующие разновидности бизнес-процессов: основной, на базе которого осуществляется выполнение функций по текущему производству продукции (оказанию услуг) и обслуживающий, на базе которого осуществляется обеспечение производственной и управленческой деятельности организации. Управление бизнес-процессами может осуществляться на двух уровнях: в рамках каждого отдельного бизнес-процесса и в рамках группы бизнес-процессов на уровне всей организации. Основой управления при этом являются следующие показатели эффективности: затраты на реализацию бизнес-процесса; длительность бизнес-процесса; показатели качества бизнес-процесса. Принцип процессного подхода претворяется в организации в следующем:

- определение процесса достижения желаемого результата;
- установление и измерение «входа» и «выхода» процесса;
- согласование процесса с функциями организации;
- оценка возможных рисков;
- чёткое распределение полномочий, ответственности и подотчётности в управлении процессом;

- определение внутренних и внешних потребителей и поставщиков, прочих участников процесса;
- концентрация внимания в процессе принятия решения на этапах процесса, потоках, средствах измерения, потребностях в обучении, оборудовании, методологии, информации, материалах и других ресурсах, необходимых для достижения желаемого результата.

На основе этого принципа организация должна определить процессы проектирования, производства и поставки продукции или услуги. В итоге управление результатами процесса переходит в управление самим процессом. Следующим этапом на пути к TQM является оптимизация использования ресурсов в каждом выделенном процессе, базирующаяся на строжайшем контроле над использованием всех видов ресурсов и поиске возможностей для снижения затрат на производство продукции (оказание услуг).

5. **Системный подход к менеджменту.** Во всех организациях, будь они производственными концернами, банками, магазинами, университетами или отелями, и вне их всегда имеет место ряд «цепочек качества» - взаимосвязанных процессов, включающих в себя поставщиков и потребителей. Например, секретарь-референт является поставщиком по отношению к своему начальнику, для него как потребителя важно, удовлетворяются ли его требования к срокам и качеству оформления документации? Эти «цепочки» могут быть нарушены в любой их точке одним человеком или одним элементом оборудования, не отвечающим требованиям потребителя, внешнего или внутреннего. Концепция внутренних и внешних потребителей и поставщиков составляет основу всеобщего качества. Следовательно, эффективность деятельности организации можно повысить за счет создания и управления системой взаимосвязанных процессов. Это означает, что организация должна стремиться к объединению процессов создания продукции или услуг с процессами, позволяющими отследить соответствие продукции или услуги

потребностям заказчика. Принцип системности управления претворяется в следующих действиях и проявлениях:

- определение системы путем установления процессов, влияющих на заданные цели;
- структуризация системы для достижения цели оптимальным способом;
- понимание взаимозависимости между процессами в системе;
- непрерывное совершенствование системы на базе оценки и аттестации;
- установление в деятельности приоритета согласованности ресурсов.

Только при системном подходе к управлению станет возможным эффективное использование обратной связи с потребителем для формирования стратегических планов и интегрированных в них планов по качеству.

6. **Постоянное улучшение.** Организация должна не только отслеживать возникающие проблемы, но и после тщательного анализа со стороны руководства предпринимать необходимые корректирующие и предупреждающие действия для предотвращения повторного появления таких проблем в будущем. Цели и задачи основываются на результатах оценки степени удовлетворенности заказчика (полученной в ходе обратной связи) и на показателях деятельности самой организации. Улучшение должно сопровождаться участием руководства в этом процессе, а также обеспечением всеми ресурсами, необходимыми для реализации поставленных целей. Это достигается следующими действиями:

- определение в качестве цели каждого сотрудника организации непрерывного совершенствования продукции, процессов и систем;
- использование периодической оценки вместо установленных критериев качества для определения области возможных совершенствований;

- постоянное повышение производительности и эффективности всех процессов;
- поощрение профилактических действий;
- обеспечение всех сотрудников организации соответствующим обучением, методиками и инструментами непрерывного совершенствования, такими, как, например, цикл Деминга, методы реинжиниринга, инноватики и т.д.;
- создание системы мер для установления, отслеживания и стимулирования улучшений.

7. **Принятие решений, основанное на фактах.** Эффективные решения основываются только на достоверных данных. Источниками таких данных могут быть, например, результаты внутренних проверок системы качества, рекламации и претензии потребителей и т.д. Кроме того, информация может основываться на анализе предложений сотрудников организации по поводу снижения издержек, повышения производительности и т.д. Принцип фактической обоснованности решений прослеживается в таких проявлениях и действиях организации, как:

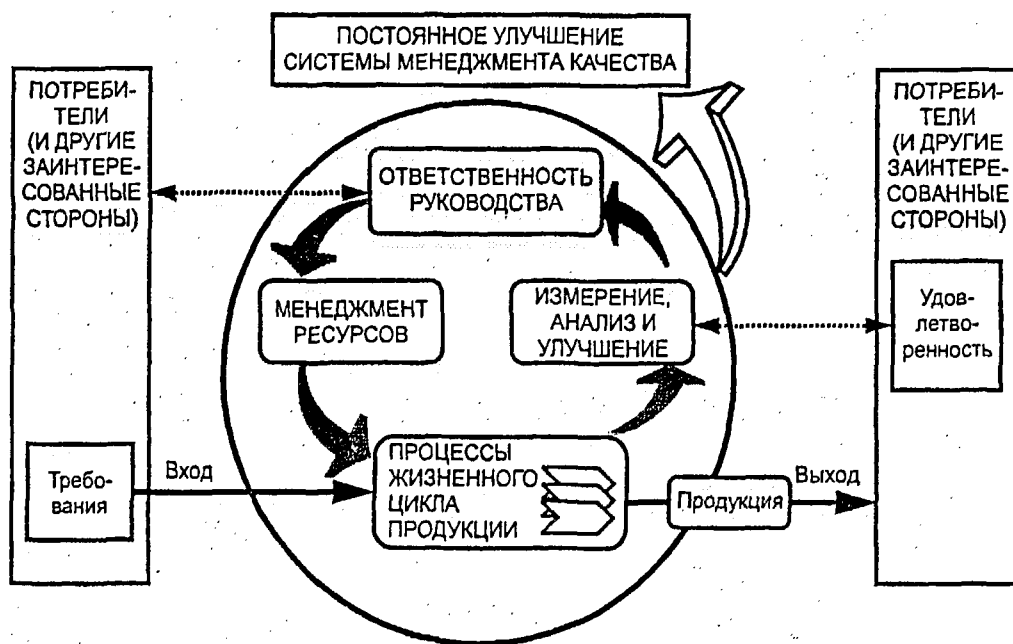
- проведение измерений, сбор целевых данных и информации;
- обеспечение достаточно полными, достоверными и точными данными и информацией;
- анализ данных и информации;
- понимание значимости подходящих статистических методов;
- принятие решений и выполнение действий, базирующихся на результатах логического анализа соотношения практического опыта и интуиции.

8. **Взаимовыгодные отношения с поставщиками.** Каждая организация тесно связана со своими поставщиками, поэтому целесообразно налаживать с ними взаимовыгодные отношения в целях дальнейшего расширения возможностей деятельности организации. Принцип поддержания

взаимовыгодных отношений с поставщиками реализуется в таких проявлениях и действиях организации, как:

- определение и выбор ключевых поставщиков;
- установление отношений партнерства с поставщиками на основе баланса между краткосрочными целями и долгосрочными планами как организации, так и общества в целом;
- создание простых и открытых взаимосвязей;
- инициирование совместного совершенствования продукции и процессов;
- совместное однозначное определение потребностей потребителей;
- обмен информацией и планами на будущее;
- признание достижений поставщиков.

Одним из важнейших шагов на пути внедрения на предприятии методологии TQM является создание на предприятии и последующая сертификация системы менеджмента качества (СМК), т.е. системы менеджмента для руководства и управления организацией, применительно к качеству. Вышеперечисленные принципы TQM стали основой для разработки стандартов на СМК, входящих в семейство ИСО 9000 [4, 49-60]. Базовым принципом стандартов семейства ИСО 9000 является принцип процессного подхода. ГОСТ Р ИСО 9000-2001 определяет процесс как «совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих видов деятельности, преобразующих входы в выходы», а процессный подход - как «систематическую идентификацию и менеджмент применяемых организацией процессов и, прежде всего, обеспечение их взаимодействия». Модель СМК, основанная на процессном подходе, представлена на рис. 1.1 [49]:



Условные обозначения:

- Деятельность, добавляющая ценность
-→ Поток информации

Рис. 1.1. Модель СМК, основанная на процессном подходе

Международные стандарты семейства ИСО 9000 являются наиболее признанными документами для разработки и внедрения системы менеджмента предприятия в области качества, в частности, СМК. Преимуществом стандартов семейства ИСО 9000 является их универсальность, т.е. применимость для любых организаций и предприятий, независимо от их вида деятельности. Одним из главных требований заказчиков (особенно у зарубежных) вот уже на протяжении нескольких лет является наличие у поставщика сертифицированной СМК, отвечающей обязательным требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Преимущества организаций и предприятий, обладающих сертифицированной СМК, очевидны. Во-первых, они обладают более высоким уровнем конкурентоспособности по сравнению с организациями и предприятиями, не имеющими СМК, и, как следствие, имеют больше заказчиков и, соответственно, больше прибыли, что является основным показателем деятельности любого предприятия; во-вторых,

действующая СМК, как видно из названия, позволяет создать на предприятии оптимальную систему управления качеством, позволяющую систематизировать, контролировать и постоянно улучшать деятельность предприятия, в т.ч. и все процессы изготовления продукции.

1.2. Корректирующие и предупреждающие действия

Одним из принципов TQM, рассмотренных выше, является принцип постоянного улучшения, который относится к одной из важнейших задач для предприятий – постоянного улучшения деятельности, в т.ч., в области качества. Действия по улучшению должны сопровождаться корректирующими и предупреждающими действиями. Согласно стандарту ГОСТ Р ИСО 9000-2001, под корректирующими понимаются действия, предпринятые для устранения причины обнаруженного несоответствия или другой нежелательной ситуации, а под предупреждающими - действия, предпринятые для устранения причины потенциального несоответствия или другой потенциально нежелательной ситуации. Корректирующие действия разрабатываются для устранения причины уже случившегося, фактического несоответствия, для того чтобы избежать повторного появления этого несоответствия в будущем. Наиболее эффективными являются предупреждающие действия, т.к. они, в отличие от корректирующих действий, позволяют разработать меры по определению причины потенциального, ещё не выявленного в процессе или продукции несоответствия и устранить её до возникновения несоответствия на предприятии. Необходимо предвидеть возможные несоответствия и своевременно устранять их. Раннее распознавание несоответствий избавляет предприятие от их дорогостоящего исправления в будущем. Около 70% ошибок совершается на стадии планирования и разработок, но только 20% ошибок удается устранить на самом предприятии, а остальные выявляются в виде дефектов у потребителя [61].

В соответствии с "Правилем десяти" примерное соотношение между затратами на отдельных этапах жизненного цикла продукции показано на рис. 1.2. Если обнаружение и устранение несоответствий на стадии материально-

технического снабжения потребует затрат в размере, к примеру, Q рублей, то устранение этой ошибки на стадии производства обойдется $10Q$, а у потребителя - уже составит $100Q$. При этом устранение потенциальной ошибки на стадии проектирования продукции или планирования производства обойдётся всего в $0,1Q$. Таким образом, затраты предприятия на предотвращение несоответствия на этапе разработки изделия будут во много раз меньше, чем затраты на исправление обнаруженного несоответствия в готовой продукции.

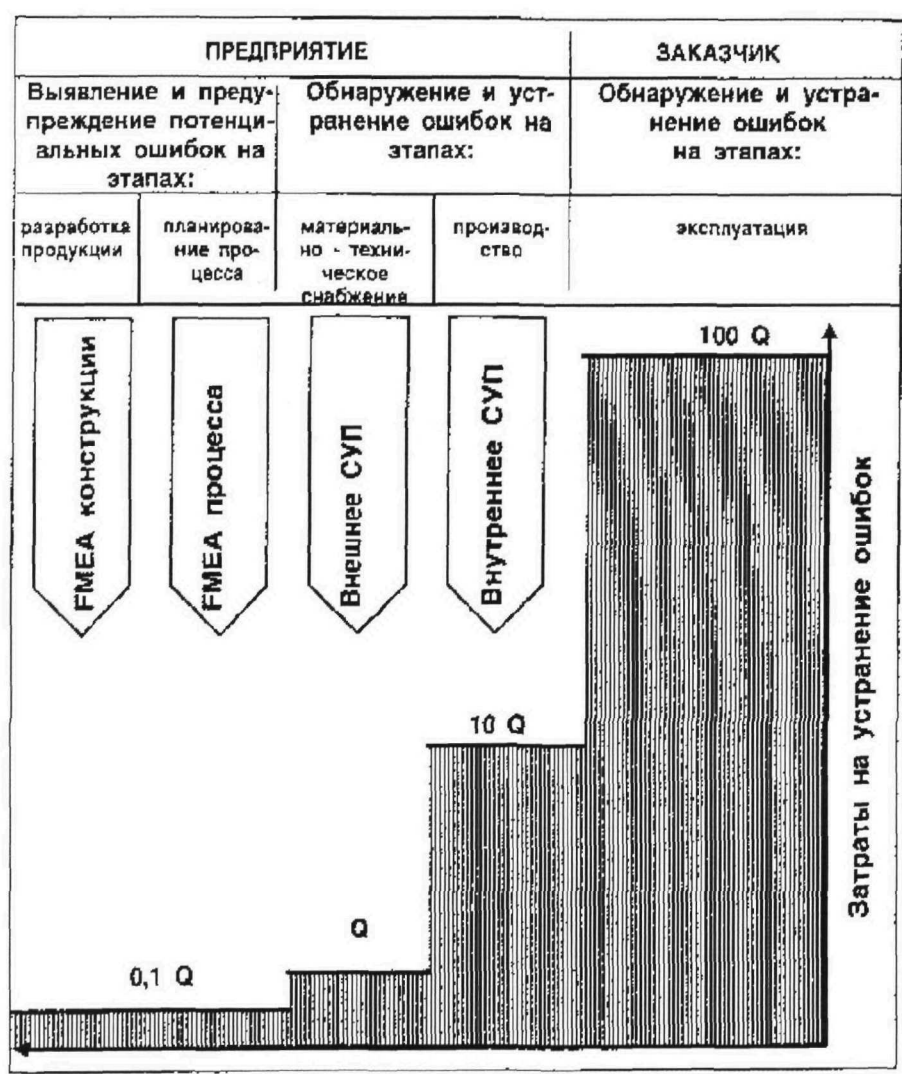


Рис. 1.2. Соотношение расходов по устранению ошибок на разных этапах жизненного цикла продукции (СУП - статистическое управление процессами)

1.3. Методы и инструменты менеджмента качества технологических процессов

Объектом исследования в диссертационной работе является технологический процесс.

Технологический процесс является основной частью производственного процесса и представляет собой систематические действия, направленные на изменение геометрических форм, размеров и физико-химических свойств предметов труда [62-66]. Технологический процесс является одним из основных и наиболее важных для любого производственного предприятия процессов, поэтому необходимо постоянно проводить идентификацию несоответствий и управлять качеством технологических процессов.

На сегодняшний момент существует большое количество различных методов и инструментов менеджмента качества, применимых для управления качеством и безопасностью технологических процессов [67-91]. Их можно условно разделить на две большие группы: статистические методы и специальные, аналитические методы.

Рассмотрим вкратце сущность и предназначение наиболее известных из этих методов.

1.3.1. Статистические методы

Самыми простыми статистическими методами являются *семь инструментов контроля качества*. Их цель – контроль протекающего процесса и предоставление его участнику фактов для корректировки и улучшения:

- контрольный листок – инструмент для сбора данных и автоматического их упорядочения для облегчения дальнейшего использования собранной информации;
- стратификация (расслоение) – инструмент, позволяющий произвести селекцию данных в соответствии с различными факторами;

- гистограмма – инструмент, позволяющий зрительно оценить распределение статистических данных, сгруппированных по частоте попадания данных в определённый (заранее заданный) интервал;
- анализ Парето – инструмент, позволяющий объективно представить и выявить основные факторы, влияющие на исследуемую проблему и распределить усилия для её решения;
- причинно-следственная диаграмма Исикавы – инструмент, который позволяет выявить наиболее существенные факторы (причины), влияющие на конечный результат (следствие);
- диаграмма разброса – инструмент, позволяющий определить вид и тесноту связи двух рассматриваемых параметров процесса;
- контрольная карта – инструмент, позволяющий отслеживать ход протекания процесса и воздействовать на него (с помощью соответствующей обратной связи), предупреждая его отклонения от предъявленных к процессу требований.

Статистический метод анализа и оценки качества процессов – это метод, при котором значения показателей процессов определяют с использованием правил математической статистики. Каждому процессу присуща собственная изменчивость качества, поэтому необходимо найти способы её минимизации. Для этого наиболее эффективным средством считается переход от статистической к динамической проверке качества и регулированию во время производства. Необходимо получить информацию о реальной работе процесса, провести анализ и оценку его характеристик, а также статистический анализ причин отклонения. Необходимо исследовать, каким образом вариации различных контролируемых параметров воздействуют на признаки качества. Важнейшая задача – расслоение причин на общие и специальные, так как их устранение производится по-разному. Это позволит добиться предотвращения несоответствий и даст возможность проводить улучшения и повышение производительности процесса с последующей оценкой эффективности проведённых действий.

Статистический метод регулирования технологических процессов позволяет установить с помощью статистических методов значения показателей точности и стабильности технологического процесса и определить закономерности его протекания во времени.

Статистические методы, построенные на математическом аппарате, предназначены, в основном, для расчёта с помощью математических формул различных показателей качества процессов. Соответственно, главным их достоинством является точность, а главным недостатком – сложность в освоении и применении.

1.3.2. Аналитические методы

Рассмотренные ранее семь инструментов контроля качества предназначены, в основном, для анализа численных данных. Однако данные по своей природе не всегда бывают численными. Для анализа таких данных были разработаны *семь инструментов управления качеством*:

- диаграмма сродства – инструмент, позволяющий выявить основные нарушения процесса в результате объединения родственных устных данных;
- диаграмма связей – инструмент, позволяющий выявить логические взаимные зависимости между основной идеей, проблемами или различными данными;
- древовидная диаграмма – инструмент, обеспечивающий систематический путь разрешения существенной проблемы, центральной идеи, или удовлетворения нужд потребителей, представленных на различных уровнях;
- матричная диаграмма – инструмент, выявляющий важность различных связей;
- матрица приоритетов – инструмент для обработки большого количества полученной при построении матричных диаграмм числовой информации, с целью выявления наиболее важной;

- стрелочная диаграмма – инструмент, позволяющий спланировать оптимальные сроки выполнения всех необходимых работ для скорейшей и успешной реализации поставленной цели;
- диаграмма процесса принятия решения (PDPC) – инструмент, позволяющий спланировать возможные варианты событий и действий, которые должны произойти, чтобы достигнуть целей процесса.

Метод развёртывания функций качества (QFD) представляет собой технологию проектирования процессов, позволяющую преобразовывать пожелания потребителя в технические требования к параметрам процессов производства изделий.

Функционально-физический анализ (ФФА) представляет собой технологию анализа качества предлагаемых проектировщиком технических решений.

Анализ видов и последствий отказов (FMEA) – представляет собой технологию анализа возможности возникновения и влияния дефектов на потребителя; проводится для разрабатываемых процессов с целью снижения риска потребителя от потенциальных дефектов.

Аналитические методы созданы для анализа качественных показателей процессов и применяются, в основном, для анализа разрабатываемых процессов, однако они могут применяться и для улучшения уже существующих процессов. Главным их достоинством является сравнительная простота и наглядность, а главным недостатком – предположительная, вероятностная оценка качества.

Среди проанализированных методов менеджмента качества, метод FMEA является наиболее соответствующим целям своевременного предотвращения возникновения потенциальных несоответствий в технологических процессах. В стандарте ГОСТ Р ИСО 9004-2001 в качестве предупреждающих действий рекомендуется применять средства анализа риска, в т.ч. метод анализа характера (видов) и последствий отказов (FMEA). Рассмотрим подробнее суть этого метода.

1.4. Метод анализа видов и последствий отказов (FMEA)

Метод FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) - "Анализ характера (видов) и последствий отказов" [61,92-104] – был разработан в США в середине шестидесятых годов и был использован впервые при разработке проекта космического корабля "Аполлон", а затем в медицине и ядерной технике. В 80-е годы метод получил дальнейшее развитие и нашел применение также в автомобильной и других отраслях промышленного производства США, а затем в Европе и Японии. В некоторых областях промышленного производства метод FMEA стал основой обеспечения качества. Это - один из наиболее эффективных методов аналитической оценки результатов конструкторской деятельности, процессов (в том числе и испытаний) на таких важнейших стадиях жизненного цикла продукции, как ее создание и подготовка к производству. Прогнозирование дефектов и предупреждение их появления на этапе создания новой техники на основе теории проб и ошибок является важнейшей задачей этого метода.

Этот метод нацелен на "внедрение " качества в продукцию, поэтому он должен применяться как можно раньше, по крайней мере, до начала производства. Этот метод сначала применялся в основном при конструировании и создании процессов во всех технических сферах. Существуют два вида FMEA: FMEA-конструкции и FMEA-процесса. FMEA-конструкции рассматривает риски, возникающие у внешнего потребителя, а FMEA-процесса – у внутреннего потребителя.

При конструировании методом FMEA решаются следующие задачи:

- получение сведений о риске альтернативных вариантов,
- определение "слабых" мест конструкций и нахождение мер по их устранению,
- сокращение дорогостоящих экспериментов.

В свете ответственности за качество продукции, этот метод определяет технический уровень продукции с точки зрения предотвращения ошибок, т.е. выявления потенциальных ошибок и оценки тяжести последствий для заказчика (внешней стороны), а также устранение ошибок или уменьшение степени их

влияния на качество (выводы для внутренней стороны). Анализ конструкции основан на теоретических знаниях и информации о прошлом опыте. Анализ проходит параллельно самому процессу разработки, придает ему документированную форму. Он как бы обобщает все поиски и рассуждения в процессе разработки. Снижение риска появления ошибок, которые вызывают неудовлетворенность потребителя и потерю у него интереса к продукции, является важнейшим элементом для сохранения конкурентоспособности.

На этапе создания процессов методом FMEA решаются задачи:

- принятие решений о пригодности альтернативных процессов и оборудования при предварительном планировании и определении лучших из них,
- обнаружение "слабых" мест и принятие мер по их устранению при планировании производства,
- подготовка серийного производства,
- исправление процессов серийного производства, которые оказываются нестабильными или неспособными.

Наиболее часто метод FMEA применяют при:

- разработке новых изделий;
- разработке новых материалов и методов;
- изменении продукции, процесса или операции;
- новых условиях применения существующей продукции;
- недостаточных возможностях технологического процесса;
- ограниченных возможностях контроля;
- использовании новых установок, машин или инструментов;
- высокой доле брака;
- возникновении риска загрязнения окружающей среды, нарушении норм техники безопасности;
- существенных изменениях организации работы.

В настоящее время метод FMEA применяется как в технических, так и других отраслях. При этом он может быть продуктивно использован при анализе закупок, организации работы, программном обеспечении и в других случаях.

FMEA - это эффективный инструмент повышения качества как для разработчиков и конструкторов, так и инженеров, связанных с организацией труда, процессами и производством. Он позволяет идентифицировать недостатки способа и самой продукции при новых разработках. Метод FMEA позволяет выявить потенциальные несоответствия, их причины и последствия, оценить риск предприятия и принять меры для устранения или снижения опасности.

FMEA - это общепринятый и самостоятельный инструмент, который подготавливает базу для дальнейшего применения аналитических и статистических методов.

Структура FMEA содержит известные элементы методик структурирования, анализа и оценки вместе с перечнем мероприятий и обязательными контрольными нормативами.

FMEA требует от человека, применяющего этот метод, систематического документирования своих рассуждений и идей. С точки зрения предприятия, документирование постоянно пополняет опыт работы. Это устраивает также и заказчика, который убеждается в том, что исполнители критически подходят к проверке собственной работы. Все это позволяет заранее оценить риск от появления несоответствий и снизить или вообще избежать затрат на устранение последствий отказов. Таким образом, при последовательном применении метода FMEA можно с самого начала выявить потенциальные несоответствия и избежать их появления в продукции.

Метод FMEA исходит, прежде всего, из детализации продукции и процессов и строгого учета всех исполняемых функций. Он обладает значительной эффективностью при создании конкурентоспособной продукции в короткие сроки и значительно экономит время и средства.

Рассмотрим преимущества метода FMEA с позиции экономики качества:

- предупреждение дефектов в конструкции и технологии;

- исключение отзыва продукции из-за пропущенных ошибок, снижение опасности обратного отзыва изделий за счет систематического отслеживания возникновения ошибок;
- распознавание слабых мест, повышение эффективности системы качества;
- систематический анализ современных достижений (ноу-хау) для избежания появления повторных дефектов;
- выполнение требований заказчика, сохранение и повышение конкурентоспособности, авторитета (имиджа) фирмы;
- информированность сотрудников, лучшее понимание ими задач и осознание необходимости качества является стимулом для мотивации качественного труда;
- исключение кризисной ситуации;
- сокращение сроков проектирования, уменьшение объемов дорогостоящих испытаний;
- планирование на ранних стадиях средств производства и контроля, оптимизация использования всех ресурсов;
- ослабление влияния "барьеров" между службами.

Первоначальное использование метода FMEA требует достаточно больших затрат. Только при накоплении опыта применения и статистических данных по причинам нарушения работоспособности и вероятности их проявления, затраты не только быстро окупаются, но и дают значительный экономический эффект в соответствии с упомянутым выше "Правилем десяти".

В нашей стране метод FMEA получил переводное название АВПО (Анализ видов и последствий отказов), и в настоящее время он приобретает всё большую популярность в связи с простотой и универсальностью использования в деятельности практически любых предприятий. Таким образом, с помощью метода FMEA можно решить сразу несколько важнейших задач:

1. Определить и устранить причины потенциальных несоответствий в процессах, и тем самым, предотвратить их появление в технологическом процессе;

2. Повысить степень безопасности процессов для внутренних потребителей и готовой продукции для внешних потребителей.

1.5. Методика проведения FMEA-анализа

Рассмотрим алгоритм и особенности методики проведения FMEA-анализа.

Блок-схема методики проведения FMEA-анализа представлена на рис. 1.3.

Алгоритм методики проведения FMEA-анализа состоит из следующих этапов:

- 1) Определение объекта проведения FMEA-анализа. На данном этапе происходит анализ и принятие решения со стороны руководства и/или службы качества организации о необходимости проведения FMEA-анализа и, соответственно, определении объекта проведения FMEA-анализа, т.е. FMEA-конструкции и/или FMEA-процесса;
- 2) Формирование FMEA-команды. На данном этапе происходит формирование рабочей группы (FMEA-команды) в организации, целью которой является непосредственно проведение FMEA-анализа объекта. Ответственным за проведение FMEA-анализа назначается специалист, которого называют модератором. При этом FMEA-командой решаются следующие задачи:
 - а) сбор, подготовка и анализ всех материалов, необходимых для проведения FMEA-анализа;
 - б) построение компонентной, структурной, функциональной и потоковой моделей объекта FMEA-анализа;
 - в) исследование моделей и определение потенциальных отказов, причин их возникновения и последствий для потребителей, а также возможностей для контроля за ними, т.е. принятие мер по обнаружению потенциальных отказов, предупреждению причин их появления и ограничению последствий для потребителя;

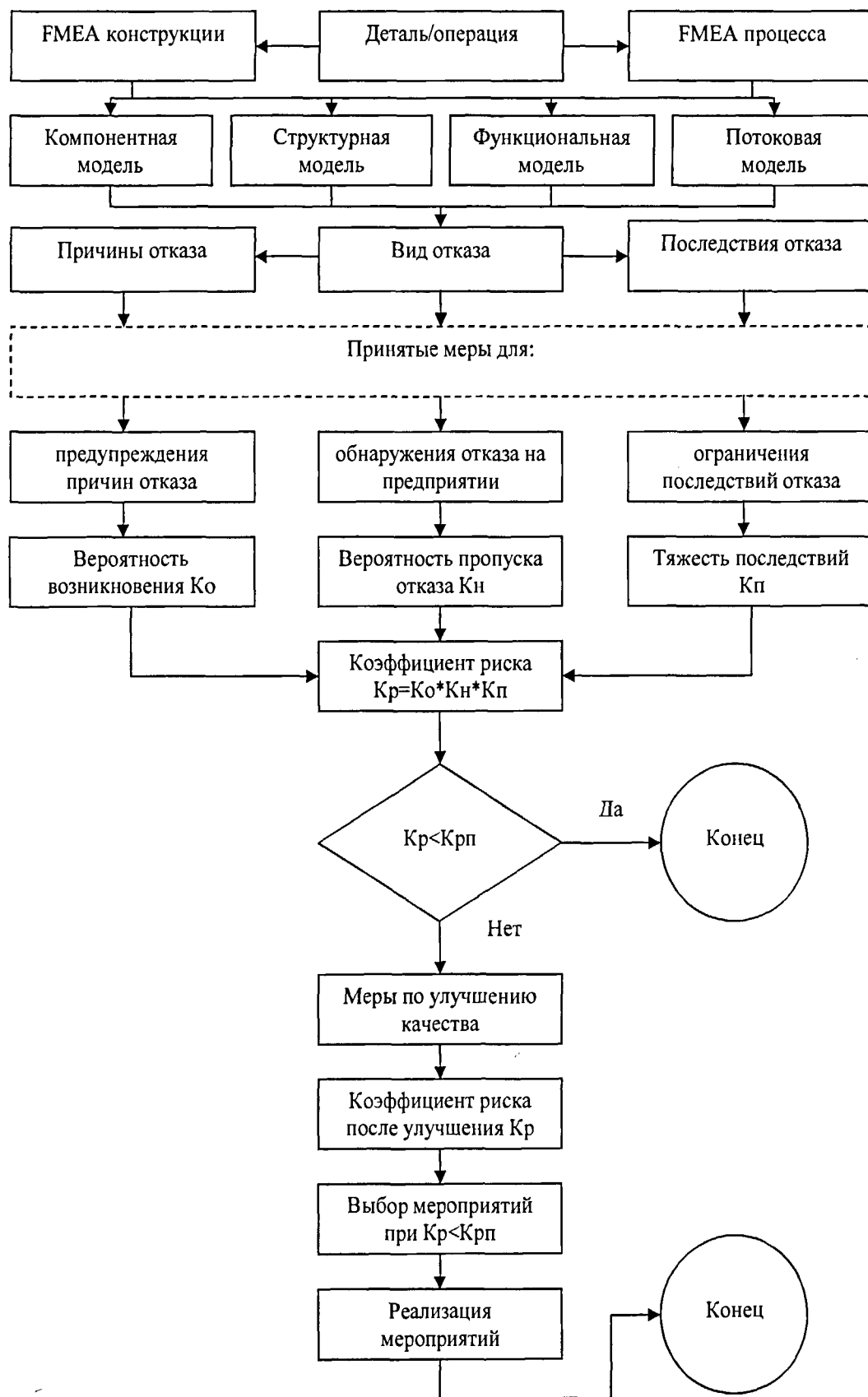


Рис. 1.3. Методика проведения FMEA-анализа

- d) определение экспертным путём с помощью соответствующих таблиц коэффициента вероятности возникновения отказа или его причины K_o , коэффициента вероятности пропуска (необнаружения) отказа или его причины на предприятии K_n и коэффициента, учитывающего тяжесть последствий отказа для потребителя K_p ; расчёт на основе этих коэффициентов приоритетного коэффициента (числа) риска K_r в соответствии с формулой (1.1), показывающего, какие возможные отказы и их причины являются наиболее существенными и, следовательно, по каким из них следует принимать предупреждающие мероприятия в первую очередь

$$K_r = K_o * K_n * K_p \quad (1.1)$$

- e) на основе рассчитанного приоритетного коэффициента риска K_r принимается решение о завершении проведения FMEA-анализа (в случае, когда $K_r < K_{rp}$, где K_{rp} – принятое на предприятии предельное значение приоритетного коэффициента риска K_r , обычно имеет значение 100-125) или о разработке мероприятий по улучшению качества, предупреждению появления отказов и причин их возникновения и снижению K_r (в случае, когда $K_r > K_{rp}$);
- f) на основе разработанных мероприятий повторно рассчитывается K_r и в случае, если он меньше K_{rp} , происходит их внедрение на предприятие.

Все данные FMEA-анализа для удобства и наглядности отображаются в виде следующей таблицы (табл. 1.1):

Таблица 1.1

Организа ция	FMEA конструкции/FMEA процесса									Регистра ционный номер.....
Ответств енный	Элемент конструкции или процесса									Страница Всего страниц_
Отдел	Функция									Дата
Номер отказа	Возмож ный отказ	Возможн ое последст вие отказа	Кп	Меры по обнаруже нию	Кн	Возможн ая причина отказа	Меры по предупре ждению	Ко	Кр	Исполнит ель. Срок исполнен ия
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

В головной части формуляра последовательно в графах трех строк указываются следующие данные:

- организация и название анализируемой конструкции или процесса;
- регистрационный номер формуляра;
- ответственный исполнитель;
- элемент исследуемой конструкции или процесса;
- номер страницы и полное число страниц документа;
- отдел или подразделение, в котором производится FMEA-анализ;
- функция (цель, назначение) анализируемого объекта;
- дата заполнения формуляра.

В столбцах по порядку записывают следующие данные:

1. Номер отказа (в столбце 1) в соответствии с приведенным перечнем при построении и анализе функциональной модели или каталогом отказов.
2. Описание потенциального отказа. Исходя из установленных ранее функций и свойств, во 2-ом столбце устанавливаются и перечисляются все возможные виды отказов. Возможно несколько видов проявления отказов, поэтому все они записываются один под другим.
3. Возможные последствия отказа, например, потеря функции или отрицательное воздействие на здоровье человека (столбец 3). В зависимости от цели анализа и от рассматриваемого объекта для оценки последствий могут

быть использованы различные показатели, такие как поломка, расходы, затраты, задержка сроков, хранение на складе, наличие, личный ущерб, нарушение законодательных требований и др.

4. Величина коэффициента Кп, учитывающего значение последствий отказов (тяжесть последствий проявления причин отказов) для потребителя. Здесь необходимо принимать во внимание также требования обязательных документов (это может быть, например, отечественный или международный стандарт), регламентирующих границы проявления этого дефекта по каким-либо характеристикам, например, по предельному уровню шума или вибраций. Учитываются и принятые меры ограничения последствий отказов. Величина Кп записывается в столбце 4. Иногда, при определении Кп приходится предварительно учитывать и причины возникновения отказов, которые будут записаны в столбце 7.

5. Меры, принятые для обнаружения отказа до поставки объекта потребителю (столбец 5).

6. Величина коэффициента Кн, учитывающего вероятность необнаружения отказа или его причины до возникновения последствий отказа непосредственно у потребителя. Значение указывается в столбце 6.

7. Причина (все причины) возникновения каждого из видов отказов (столбец 7).

8. Меры, принятые для предупреждения появления причины (или отказа) - столбец 8.

9. Величина коэффициента Ко, учитывающего вероятность появления причины отказа.

10. Величина коэффициента приоритетного числа риска Кр. Рассчитывается по формуле 1 для каждой из установленных причин. Записывается в столбец 10.

11. Результаты оценки фактически внедренных мероприятий в рассматриваемом элементе (контроль достигнутого успеха) путем сравнения коэффициента риска с предельным значением. Если Кр не более Крп - в столбце 11 делается прочерк. Если же достигнутое значение Кр превышает Крп, то

назначается исполнитель, который должен разработать меры по улучшению качества и снижению коэффициента риска до допустимого уровня. Подразделение, отвечающее за исполнение, а также фамилия исполнителя и срок исполнения, указываются в последнем 11-ом столбце.

Формуляр в таблице 1.1 используется и при повторном анализе объекта после разработки мероприятий по улучшению качества. Исполнитель заносит в столбцы 5 и 8 нового формуляра все возможные мероприятия по улучшению качества и анализирует их посредством сравнения коэффициентов риска между собой и каждого из них с предельным значением. Естественно, что нужно отбирать такие мероприятия, которые бы не только снижали риск до требуемого уровня, но и были бы легко реализованы с наименьшими затратами времени и средств. Отобранные мероприятия используются для совершенствования анализируемого объекта. После повторного анализа назначаются ответственные за реализацию рекомендуемых мероприятий, а также сроки выполнения, которые указываются также в столбце 11 нового формуляра.

Проанализировав особенности метода FMEA и методики проведения FMEA-анализа, были выявлены следующие недостатки:

1. Классический метод FMEA применим только для тех предприятий, которые собираются осваивать новую, ранее ещё не производимую на предприятии продукцию;
2. При проведении FMEA-анализа необходимо построить как минимум четыре модели для анализа отказов (компонентную, структурную, функциональную, потоковую);
3. Для анализа причин возникновения отказов в проанализированных источниках предлагается использовать причинно-следственные диаграммы (диаграммы Исикавы), однако, хотя данный инструмент и является эффективным, представляется недостаточным и несколько устаревшим;

4. Определение экспертным путём трёх коэффициентов K_o , K_n и K_p является достаточно трудоёмкой задачей, требующей привлечения квалифицированных специалистов;

5. Методика проведения FMEA-анализа является слишком формализованной, ей не хватает наглядности и простоты, она не соответствует современным тенденциям в области управления качеством.

1.6. Выводы по главе 1

1. Основными задачами любого предприятия является постоянное улучшение качества своей продукции и повышение уровня безопасности для потребителя. Этого можно достичь, главным образом, за счёт уменьшения количества несоответствий в процессе производства продукции;

2. Наиболее эффективным средством повышения уровня безопасности и уменьшения количества несоответствий в процессе производства являются предупреждающие действия, позволяющие своевременно предупредить возникновение потенциальных несоответствий;

3. Среди проанализированных методов менеджмента качества и безопасности технологических процессов за основу был выбран метод FMEA, являющийся наиболее известным и эффективным методом менеджмента качества в области анализа, оценки и предупреждения потенциальных несоответствий в технологических процессах, а также повышению уровня их безопасности;

4. Для устранения выявленных недостатков в методе FMEA и методике проведения FMEA-анализа необходимо разработать альтернативную методику анализа и предупреждения возникновения потенциальных несоответствий в технологических процессах, базирующуюся на методике проведения FMEA-анализа и содержащую новый, научно-обоснованный подход к анализу потенциальных несоответствий в технологических процессах.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НЕСООТВЕТСТВИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Данная глава диссертационной работы посвящена разработке и теоретическому обоснованию методики анализа и предупреждения возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе. На основе исследований, проведённых в первой главе, сформированы следующие этапы разрабатываемой методики:

1. Анализ компонентов и декомпозиция технологического процесса;
2. Анализ технологических операций и построение блок-схемы их взаимодействия, основанной на разработанной модели технологической операции с блоком анализа потенциальных несоответствий;
3. Анализ и определение потенциальных несоответствий в технологических операциях, причин и последствий их возникновения с помощью разработанной модели анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях;
4. Анализ и оценка последствий возникновения потенциальных несоответствий в соответствии со степенью их критичности в рамках исследуемого технологического процесса;
5. Разработка предупреждающих действий по устранению исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе.

Рассмотрим подробно каждый из сформированных этапов, приведём их научное обоснование и правомерность применения в рамках разрабатываемой методики.

2.1. Анализ компонентов и декомпозиция технологического процесса

Технологический процесс представляет собой совокупность технологических операций, на каждой из которых происходит частичное

преобразование продукции с последующей передачей на другую технологическую операцию. Соответственно, управляя качеством технологических операций, мы управляем качеством технологического процесса. В связи с этим, на первом этапе разрабатываемой методики необходимо провести анализ компонентов технологического процесса и провести его декомпозицию до уровня технологических операций. Технологические операции могут быть объединены в более крупные подпроцессы основного технологического процесса по определённым технологическим особенностям. Блок-схема декомпозиции технологического процесса приведена на рис. 2.1:

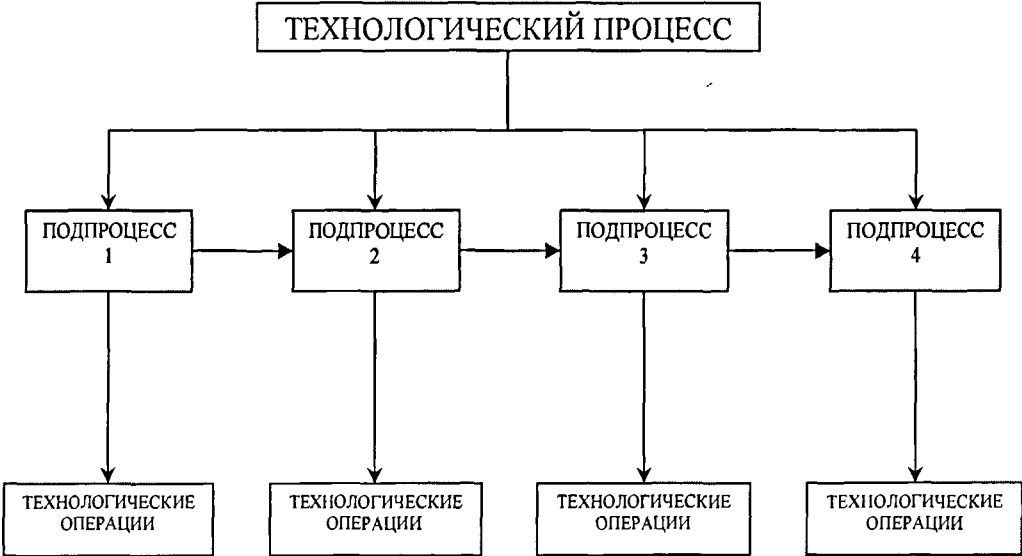


Рис. 2.1. Декомпозиция технологического процесса

Первый уровень декомпозиции представляет собой последовательность подпроцессов основного технологического процесса. Второй уровень представляет собой взаимодействие технологических операций внутри каждого подпроцесса. Таким образом, проведено разукрупнение технологического процесса до необходимого уровня - технологических операций. В дальнейшем в работе рассматривается второй уровень декомпозиции - технологические операции, которые являются объектом анализа и управления.

2.2. Анализ технологических операций и построение блок-схемы их взаимодействия, основанной на разработанной модели технологической операции с блоком анализа потенциальных несоответствий

На втором этапе разрабатываемой методики необходимо провести анализ взаимодействия технологических операций в исследуемом технологическом процессе. Для описания каждой технологической операции с целью определения факторов возникновения причин и мест проявления последствий потенциальных несоответствий, предложена модель технологической операции с блоком анализа потенциальных несоответствий (рис. 2.2), разработанная в соответствии с принципом процессного подхода и методом стратификации (расслоения) «бМ». Разработанная модель является наглядным инструментом, позволяющим:

- представить технологические операции в виде цепочки взаимосвязанных между собой процессов;
- определить ресурсы, задействованные в технологической операции;
- определить входные и выходные характеристики технологической операции;
- определить факторы возникновения причин потенциальных несоответствий в технологической операции;
- определить места проявления последствий возникновения потенциальных несоответствий в последующих технологических операциях и/или в готовой продукции.

Основным элементом разработанной модели является блок анализа потенциальных несоответствий. На основе анализа элементов разработанной модели, в нём происходит определение потенциальных несоответствий, а также причин и последствий их возникновения. Для этого был разработан специальный инструмент, подробное описание которого приведено в следующем разделе.

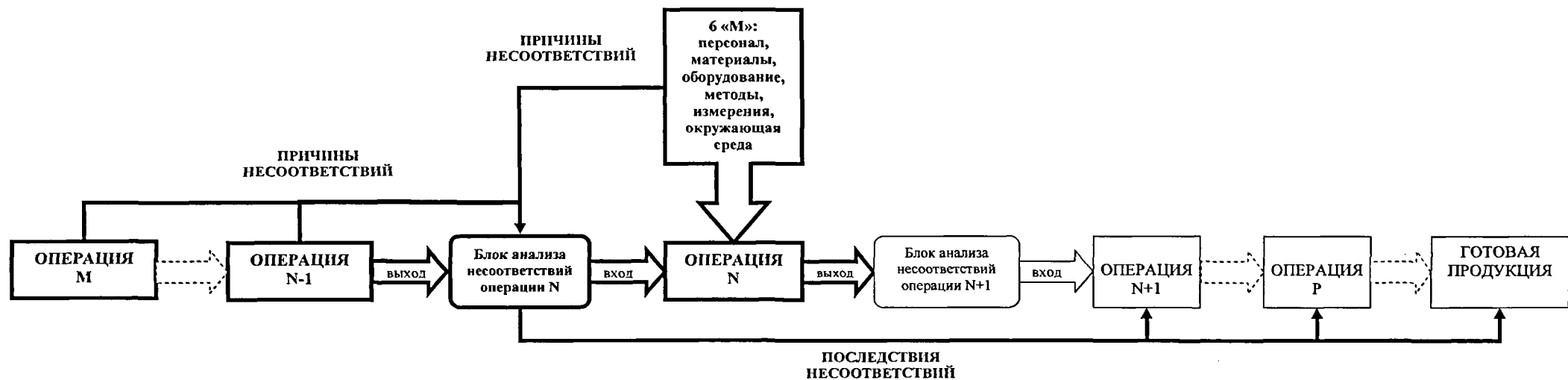


Рис. 2.2.. Модель технологической операции с блоком анализа потенциальных несоответствий

2.3. Анализ и определение потенциальных несоответствий в технологических операциях, причин и последствий их возникновения с помощью разработанной модели анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции

Для анализа и определения потенциальных несоответствий в технологической операции, причин и последствий их возникновения, а также для оценки последствий их проявления, на третьем этапе разрабатываемой методики предложена модель анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции (рис. 2.3):

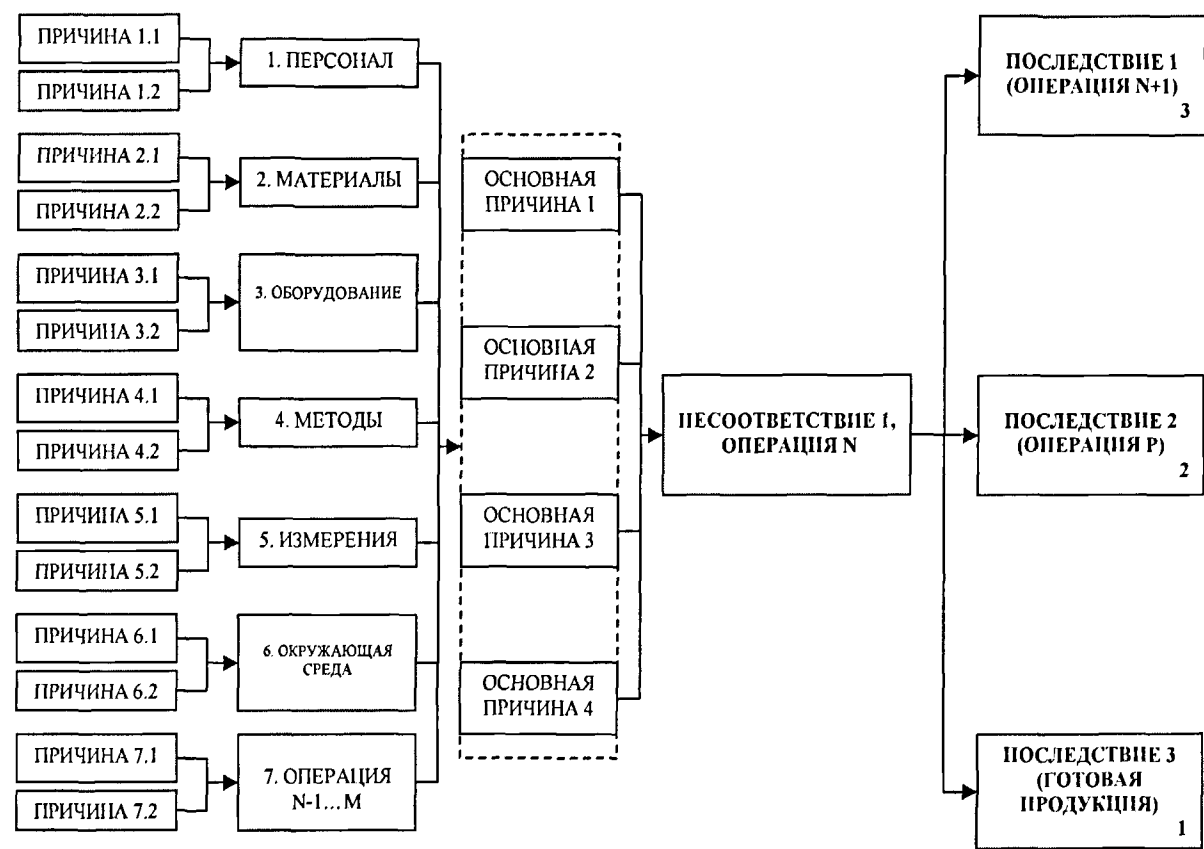


Рис. 2.3. Модель анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции

Алгоритм её построения приведён на рис. 2.4. Разработанная модель основана на интеграции инструментов управления и контроля качества - диаграмме сродства и методе стратификации «6М». Главными задачами анализа и построения разработанной модели являются определение исходных причин

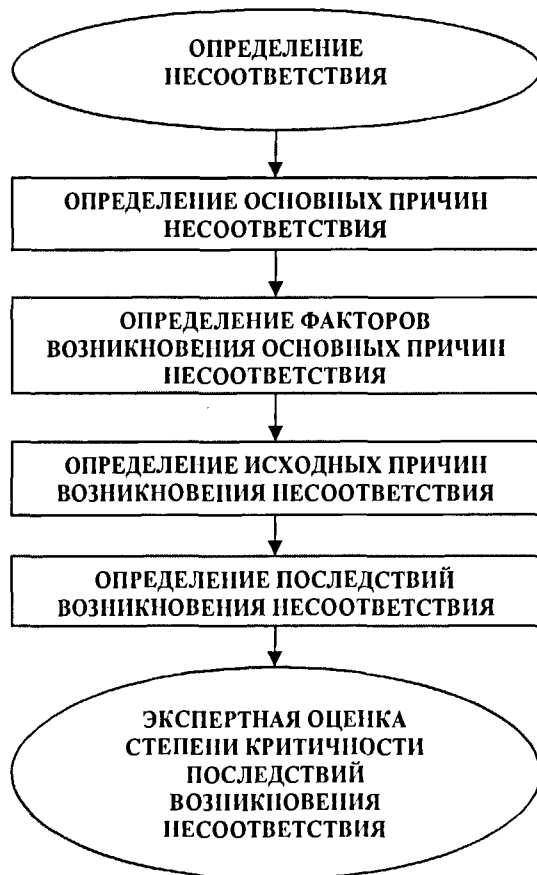


Рис. 2.4. Алгоритм построения модели анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции

потенциальных несоответствий и определение и экспертная оценка степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий в технологической операции. В данной модели предложена группировка всех причин возникновения потенциальных несоответствий в зависимости от факторов их возникновения, определённых на основе анализа модели технологической операции, применяемой на втором этапе методики и приведённой на рис. 2.2. Группировка причин возникновения потенциальных несоответствий происходит в соответствии с методом расслоения «6М» и с учётом влияния предыдущих технологических операций.

Определение причин возникновения потенциальных несоответствий в технологической операции состоит из следующих стадий:

1. Определяются основные причины несоответствий, т.е. причины, которые непосредственно привели к возникновению несоответствий;

2. Определяются факторы возникновения основных причин несоответствий, т.е. происходит группировка основных причин несоответствий в зависимости от источника их возникновения (рис. 2.2);
3. Определяются исходные причины возникновения несоответствий, т.е. первоначальные причины, приведшие впоследствии к возникновению несоответствий.

Определение последствий и экспертная оценка степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий в технологической операции заключаются в следующем:

1. Определяются последствия возникновения несоответствий и места их возможного проявления в технологических операциях и/или готовой продукции (рис. 2.2);
2. Проводится экспертная оценка степени критичности последствий возникновения несоответствий в технологических операциях. Под степенью критичности последствий понимается уровень риска от их возможного проявления. В качестве экспертов выступают специалисты предприятия, а также представители заказчика. Для определения степени критичности последствий возникновения несоответствий в технологической операции разработан критерий тяжести последствий возникновения несоответствий, учитывающий влияние последствий возникновения несоответствия на последующие технологические операции и/или на весь технологический процесс, а также влияние последствий возникновения несоответствия на безопасность внутренних и внешних потребителей. В качестве критерия, характеризующего значение коэффициента критичности последствий возникновения несоответствия (коэффициента риска), предложен критерий, учитывающий величину затрат на исправление последствий возникновения несоответствий. На основе разработанного критерия тяжести последствий возникновения несоответствия, эксперты определяют степень их критичности и присваивают им коэффициент риска (табл. 2.1):

Экспертная оценка степени критичности последствий возникновения
потенциальных несоответствий в технологической операции

КРИТЕРИЙ ТЯЖЕСТИ ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕСООТВЕТСТВИЯ	СТЕПЕНЬ КРИТИЧНОСТИ ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕСООТВЕТСТВИЯ	КОЭФФИЦИЕНТ КРИТИЧНОСТИ ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕСООТВЕТСТВИЯ (КОЭФФИЦИЕНТ РИСКА)
Последствие возникновения несоответствия, ведущее к серьёзному нарушению в технологическом процессе (технологической операции) и/или в готовой продукции и/или способное причинить существенный вред здоровью и безопасности персонала и конечного потребителя	Опасное	3
Последствие возникновения несоответствия, ведущее к нарушению в технологическом процессе (технологической операции) и/или в готовой продукции и/или способное причинить вред здоровью и безопасности персонала и конечного потребителя	Критичное	2
Последствие возникновения несоответствия, ведущее к незначительному нарушению в технологическом процессе (технологической операции) и/или в готовой продукции без вреда для здоровья и безопасности персонала и конечного потребителя	Некритичное	1

2.3.1. Разработка математического алгоритма описания модели анализа
видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в
технологической операции

Для описания логических связей в модели анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции разработан математический алгоритм, состоящий из следующих этапов:

1. Определяем зависимость потенциальных несоответствий от основных причин их возникновения в виде следующей функции:

$$H = f_1(P_{po}) \tag{2.1}$$

где H – несоответствие;

P_{po} – основные причины несоответствия

2. Определяем зависимость основных причин возникновения несоответствий от исходных причин возникновения несоответствий в виде функции:

$$\Pi_{po} = f_2(\Pi_{ri}) \quad (2.2)$$

где Π_{ri} – исходные причины несоответствия

3. Основной задачей модели анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции является определение и последующее устранение выявленных исходных причин возникновения потенциальных несоответствий. Устранение исходных причин позволяет свести к минимуму вероятность возникновения несоответствия. Представим эту задачу в виде следующего выражения:

$$\Pi_{ri} \rightarrow \min, \Rightarrow \Pi_{po} \rightarrow \min, \Rightarrow H \rightarrow \min \quad (2.3)$$

4. Определяем зависимость между потенциальными несоответствиями и последствиями от их возникновения:

$$\Pi = f_3(H) \quad (2.4)$$

где Π – последствия возникновения несоответствия

5. Определяем зависимость между последствиями возникновения потенциальных несоответствий и степенью их критичности

$$C_{kp} = f_4(T_p) \quad (2.5)$$

где C_{kp} – степень критичности последствий несоответствия,

T_p - критерий тяжести последствий возникновения несоответствия

2.4. Анализ и оценка последствий возникновения потенциальных несоответствий в соответствии со степенью их критичности в рамках исследуемого технологического процесса

На четвёртом этапе разрабатываемой методики необходимо провести анализ и систематизацию данных по всем последствиям возникновения несоответствий в технологических операциях по степени их критичности и провести их оценку в рамках исследуемого технологического процесса. Для этого разработана таблица оценки последствий возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе с учётом степени их критичности, определённой на третьем этапе методики (табл. 2.2). В таблицу заносятся следующие данные, полученные из предыдущих этапов методики:

1. Порядковый номер технологической операции;
2. Наименование технологической операции;
3. Количество последствий возникновения несоответствий с группировкой их по степени критичности;
4. Присвоенный коэффициент риска;
5. Общее количество последствий возникновения несоответствий в каждой технологической операции;
6. Общее количество последствий возникновения несоответствий в исследуемом технологическом процессе по каждой группе критичности последствий;
7. Общее количество последствий возникновения несоответствий в технологическом процессе.

На основании этих данных в таблице рассчитываются:

1. Вес риска в каждой группе критичности последствий возникновения несоответствия по формуле:

$$B_{pN} = \Pi_N \times k_{pN} \quad (2.6)$$

где B_{pN} – вес риска,

Таблица 2.2

Оценка последствий возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе по степени их критичности

[illegible]

Π_N – количество последствий возникновения потенциальных несоответствий,

k_{pN} – коэффициент риска,

N – номер технологической операции.

2. Суммарный вес риска $\sum B_{pN}$ в каждой группе критичности последствий возникновения несоответствия;

3. Доля риска в каждой группе критичности последствий возникновения несоответствия по формуле:

$$D_{pN} = B_{pN} / \sum B_{pN} \quad (2.7)$$

где D_{pN} – доля риска

Затем, на основе расчётных данных таблицы 2.2, построим гистограмму, характеризующую распределение последствий возникновения несоответствий по степени их критичности в операциях технологического процесса (рис. 2.5). Гистограмма отображает значение доли риска от последствий возникновения несоответствий в каждой из технологических операций рассматриваемого технологического процесса с учётом степени их критичности. Построенная гистограмма является наглядным инструментом, позволяющим выявить очерёдность устранения причин несоответствий в операциях технологического процесса в соответствии со степенью критичности последствий и величиной доли риска. В первую очередь необходимо устранять причины несоответствий с опасными, затем – с критичными и, в последнюю очередь, с некритичными последствиями возникновения несоответствий.

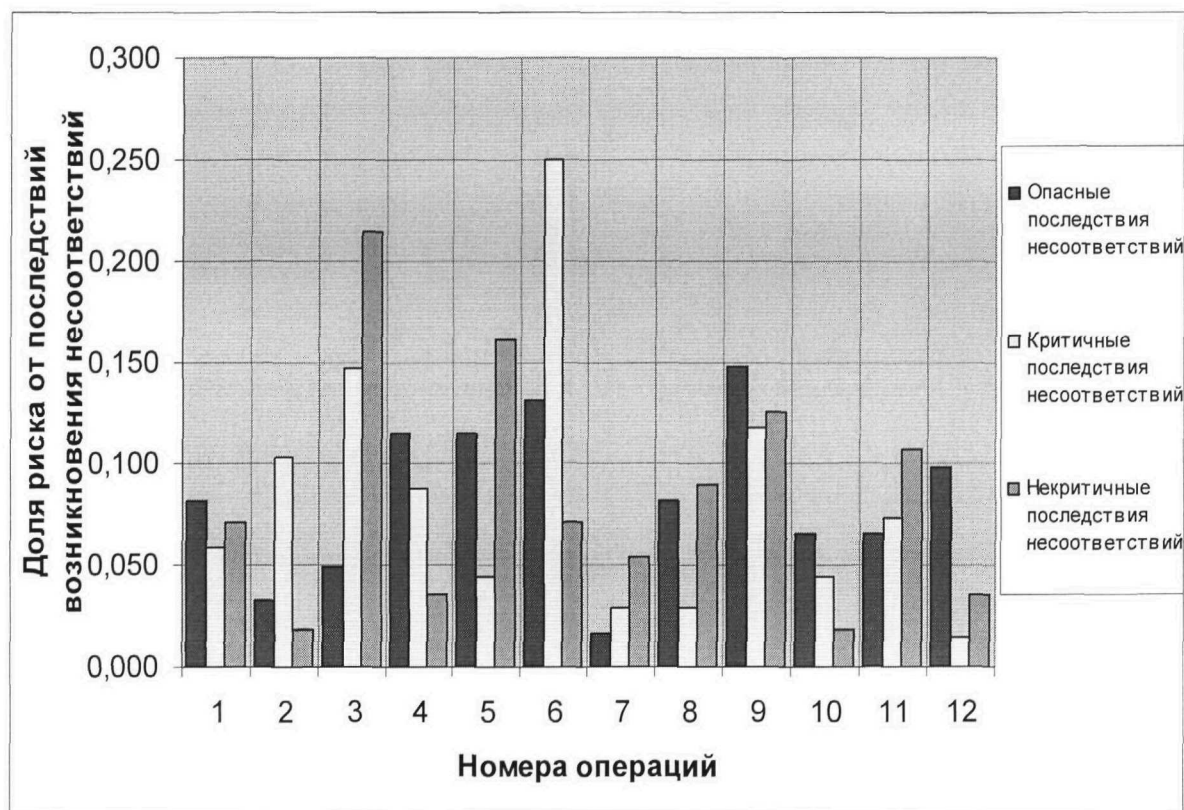


Рис. 2.5. Гистограмма распределения последствий возникновения несоответствий по степени их критичности в операциях технологического процесса

2.5. Разработка предупреждающих действий по устранению исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе

Для предотвращения возникновения потенциальных несоответствий, необходимо разработать практические рекомендации, позволяющие своевременно предотвратить появление исходных причин несоответствий. В качестве инструмента для разработки предупреждающих действий предлагается использовать диаграмму процесса принятия решения (PDPC). С помощью данной диаграммы, в соответствии с определённой на четвёртом этапе методики очередностью устранения исходных причин возникновения несоответствий, а также с учётом определённых на третьем этапе методики исходных причин возникновения несоответствий, для каждого вида несоответствия разрабатываются варианты предупреждающих действий по устранению исходных причин несоответствий в каждой технологической операции. Затем из предложенных вариантов выбираются наиболее оптимальные, не требующие

больших финансовых, трудовых или иных видов затрат (рис. 2.6). После определения оптимальных предупреждающих мероприятий для каждой операции технологического процесса, составляется перечень или комплекс предупреждающих мероприятий в рамках исследуемого технологического процесса.

Разработанные предупреждающие мероприятия являются эффективным способом повышения качества и безопасности технологического процесса, так как позволяют своевременно устранить исходные причины потенциальных несоответствий и свести к минимуму риск от возможных несоответствий.

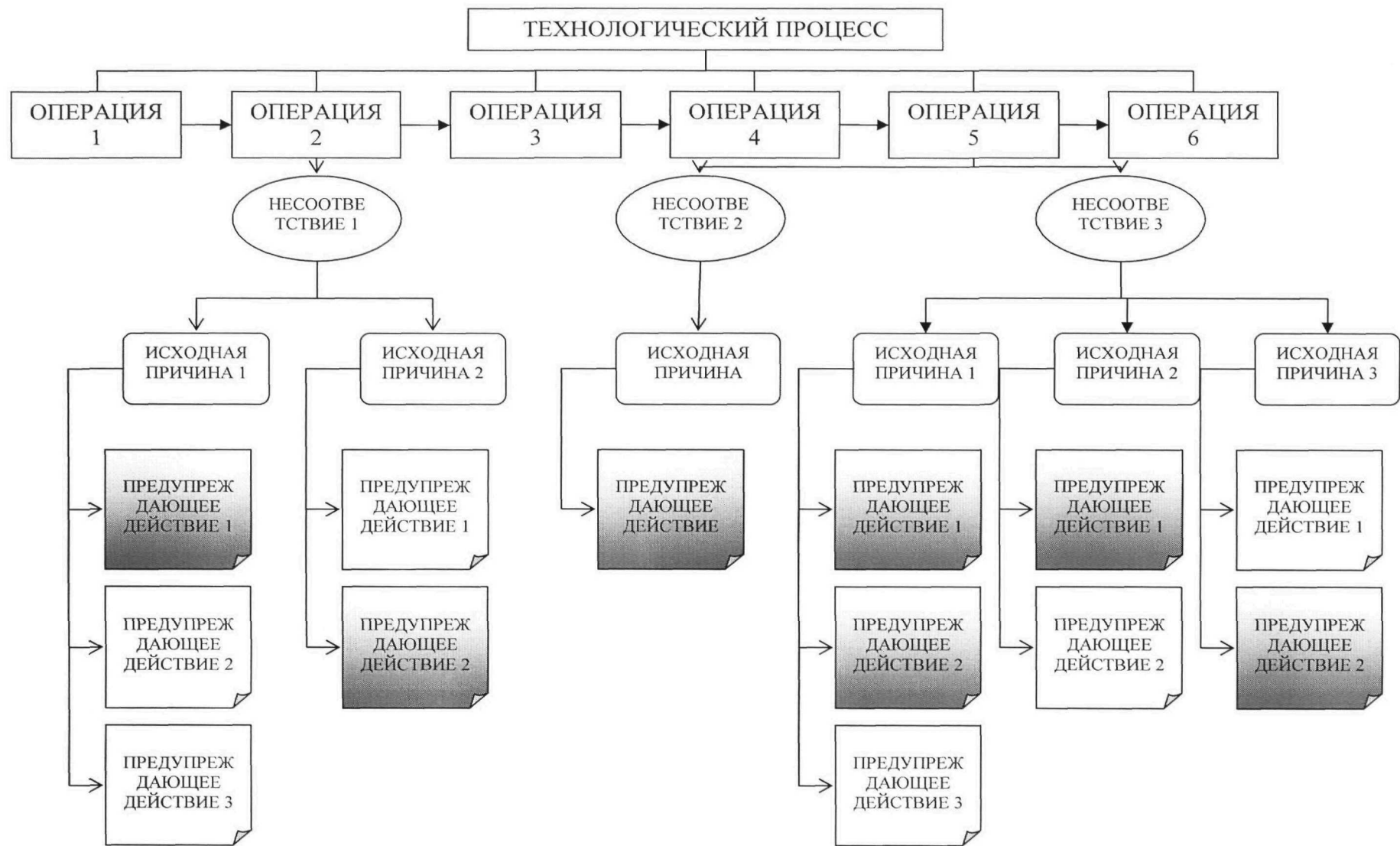


Рис. 2.6. Блок-схема разработки предупреждающих действий на основе PDPC

2.6. Выводы по главе 2

1. На основе анализа, проведённого в первой главе диссертационной работы, сформированы этапы разрабатываемой методики анализа и предупреждения возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе;
2. Разработана модель технологической операции с блоком анализа потенциальных несоответствий для проведения анализа взаимодействия между операциями в исследуемом технологическом процессе;
3. Разработана модель анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции, позволяющая определить потенциальные несоответствия в технологической операции, причины и последствия их возникновения, а также оценить степень критичности последствий;
4. Разработан критерий тяжести последствий возникновения потенциальных несоответствий, на основе которого экспертным путём определяются степень критичности последствий возникновения несоответствий и коэффициент риска;
5. Для разработки предупреждающих действий по устранению исходных причин потенциальных несоответствий предложена диаграмма процесса принятия решений.

**ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ
РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ НА ПРИМЕРЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ TiN ПОКРЫТИЙ**

Проведём апробацию разработанной методики на примере технологического процесса нанесения TiN покрытий. Этот процесс входит в состав комплексного технологического процесса нанесения защитно-декоративных покрытий на металлические изделия сложной формы, являющегося объектом диссертационного исследования.

**3.1. Анализ компонентов и декомпозиция технологического процесса
нанесения TiN покрытий**

В соответствии с первым этапом разработанной методики, проведём анализ компонентов и декомпозицию технологического процесса нанесения TiN покрытий. Процесс включает в себя 12 технологических операций (рис. 3.1):

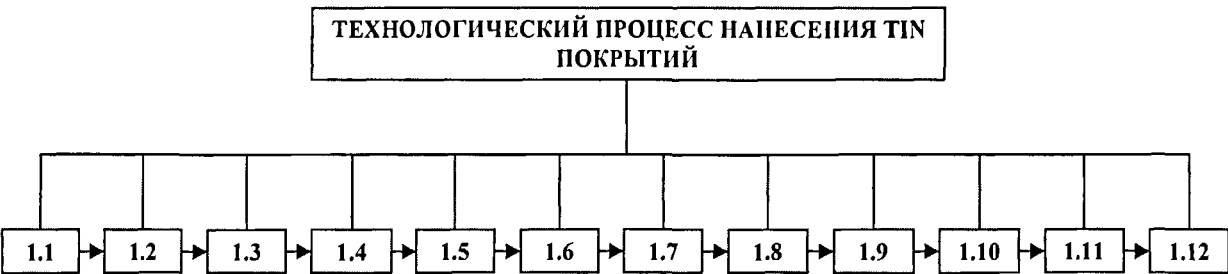


Рис. 3.1. Декомпозиция технологического процесса нанесения TiN покрытий

Перечень технологических операций, входящих в технологический процесс нанесения TiN покрытий, приведён в таблице 3.1:

Таблица 3.1

Технологические операции процесса нанесения TiN покрытий

№	Операция
1.1	Включить установку нанесения покрытий и подготовить к работе
1.2	Установить детали в рабочей камере
1.3	Закрыть крышку камеры и произвести откачку камеры
1.4	Напустить аргон в камеру
1.5	Нанести подслой Ti
1.6	Подать напряжение смещения на детали
1.7	Напустить азот в камеру
1.8	Нанести TiN покрытие
1.9	Отключить питание электродов камеры
1.10	Отключить подачу рабочих газов
1.11	Напустить воздух в камеру
1.12	Открыть крышку камеры и достать детали

3.2. Анализ технологических операций процесса нанесения TiN покрытий и построение блок-схемы их взаимодействия, основанной на разработанной модели технологической операции с блоком анализа потенциальных несоответствий

Проведя анализ технологических операций процесса нанесения TiN покрытий, построим модель их взаимодействия в соответствии с моделью, разработанной на втором этапе методики (рис. 3.2).

Обозначения, используемые при построении модели:

- БА – блок анализа потенциальных несоответствий;
- Ф – факторы возникновения причин потенциальных несоответствий (метод 6 «М»);
-  - входы и выходы технологических операций;
- ПД - подготовка деталей перед началом технологического процесса;
- ГП – готовая продукция;
-  - причины потенциальных несоответствий;
-  - последствия потенциальных несоответствий.

На основе построенной модели, проведём анализ каждой технологической операции на наличие потенциальных несоответствий, с учётом факторов, влияющих на неё и мест возможного проявления последствий потенциальных несоответствий. Для этого на третьем этапе разработанной методики применим модель анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции.

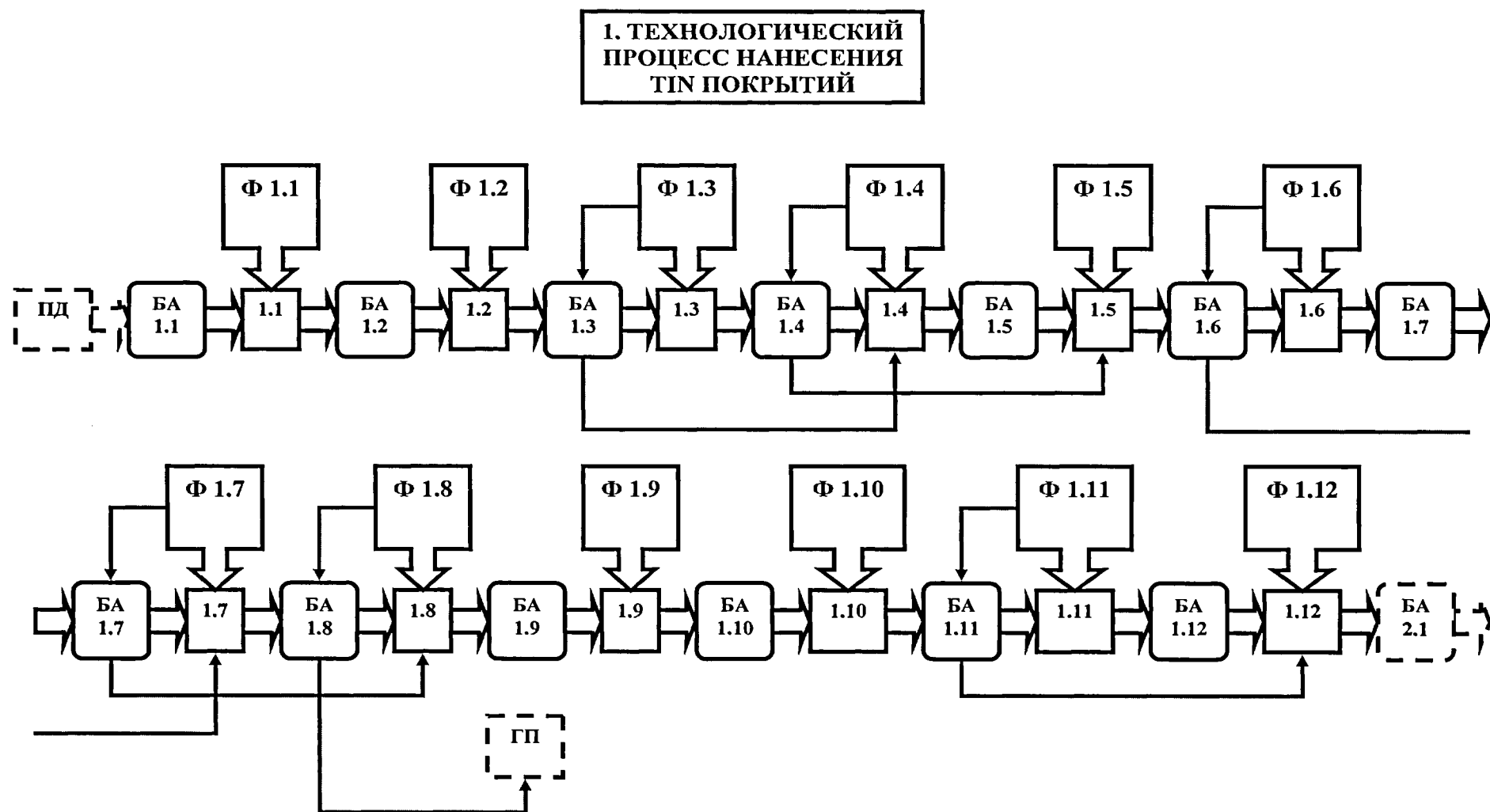


Рис. 3.2. Модель взаимодействия технологических операций в процессе нанесения TiN покрытий

3.3. Анализ и определение потенциальных несоответствий, причин и последствий их возникновения в технологических операциях процесса нанесения TiN покрытий с помощью разработанной модели анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях

На третьем этапе методики, на основе построенной модели взаимодействия технологических операций в процессе нанесения TiN покрытий, с помощью разработанной модели анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции, проведём анализ и определим потенциальные несоответствия, причины возникновения, последствия и места их возможного проявления, а также проведём экспертную оценку степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий в технологических операциях (рис. 3.3).

В результате проведённого анализа было выявлено 7 потенциальных несоответствий в 6 технологических операциях, определены 11 возможных исходных причин их возникновения и 13 возможных последствий и мест их проявления (рис. 3.2). Проведена экспертная оценка степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий, в результате которой определены 5 опасных, 6 критичных и 2 некритичных последствия возникновения потенциальных несоответствий.

Таким образом, построенные модели взаимодействия технологических операций и анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в процессе нанесения TiN покрытий позволили простым, наглядным и доступным способом проанализировать и отобразить потенциальные несоответствия, причины и последствия их возникновения, а также оценить степень критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий.

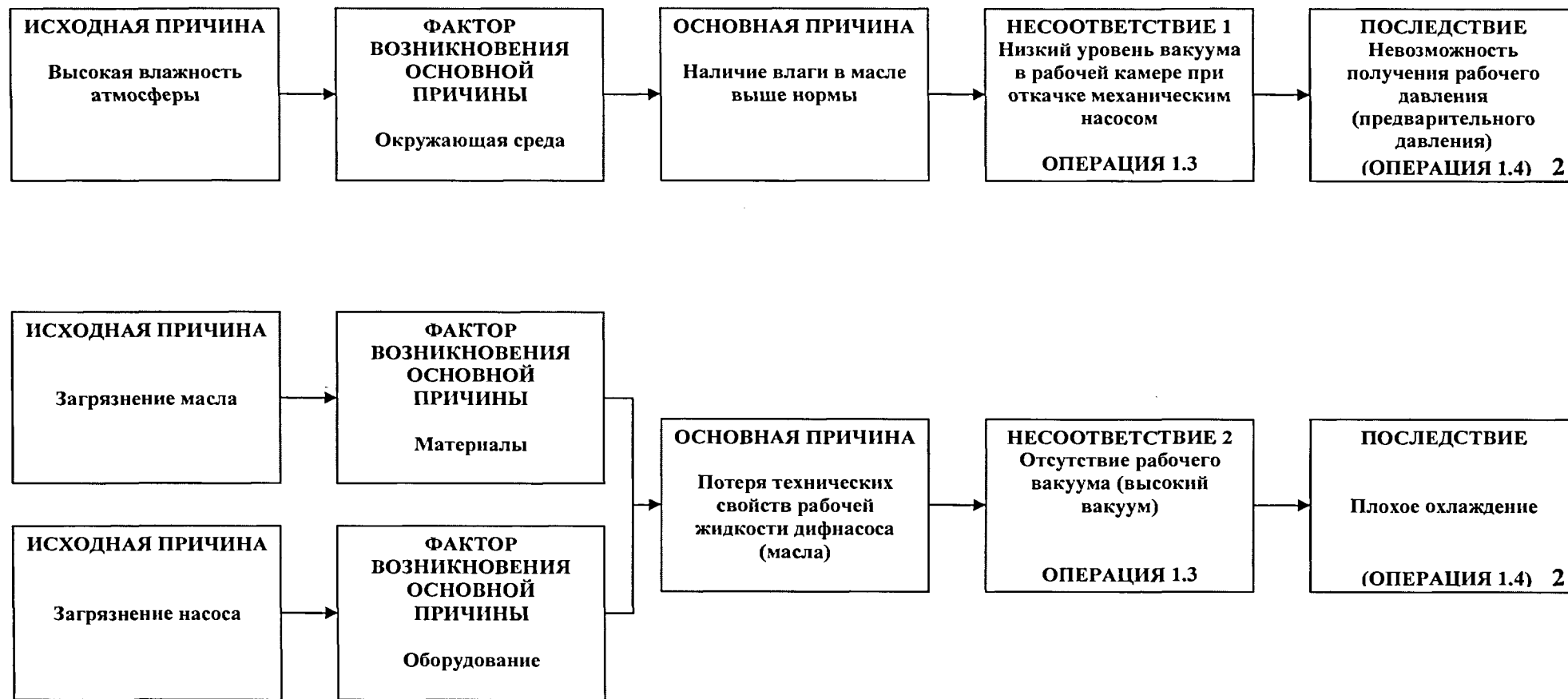


Рис. 3.3а. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения TiN покрытий

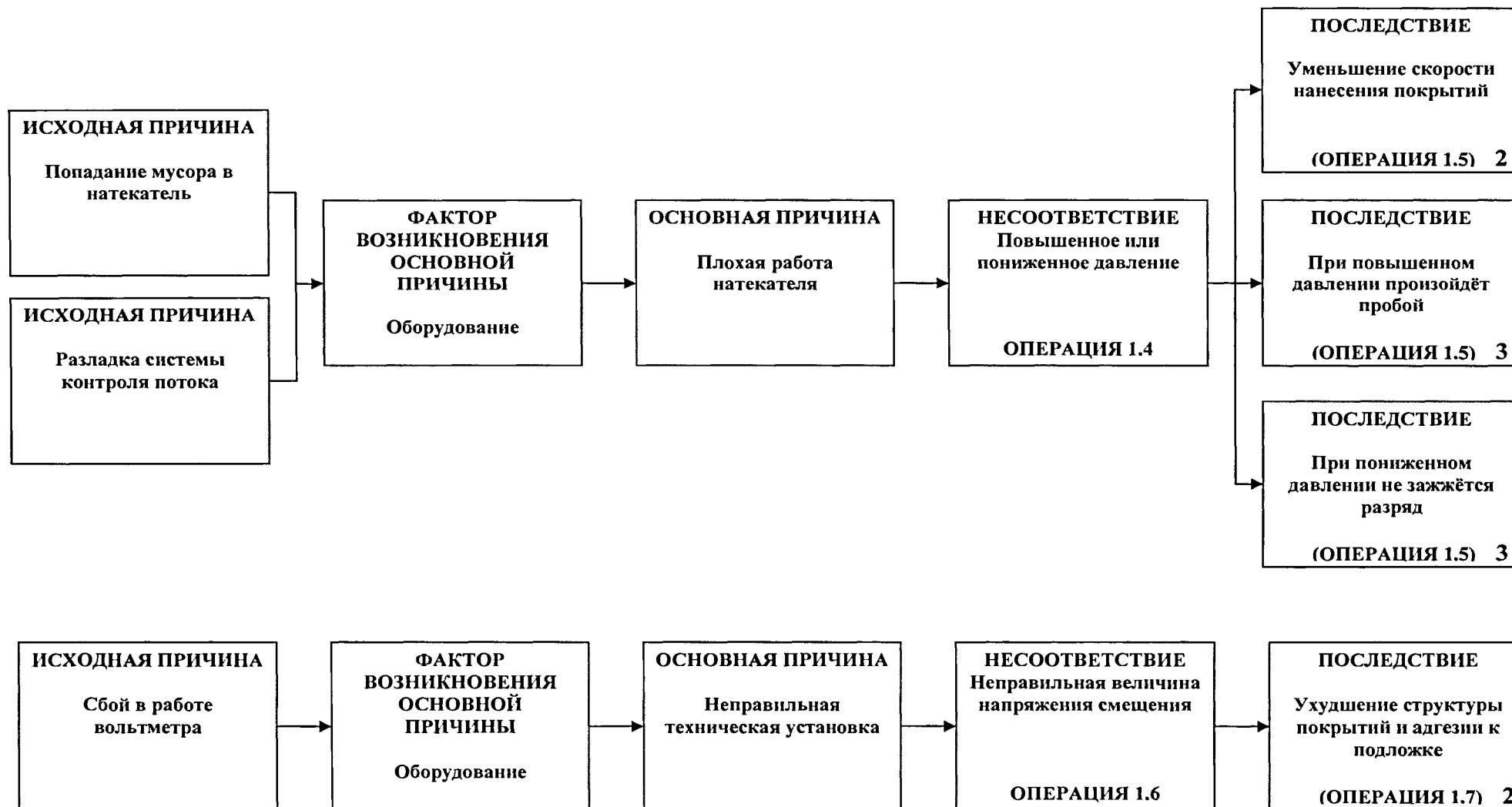


Рис. 3.36. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения TiN покрытий

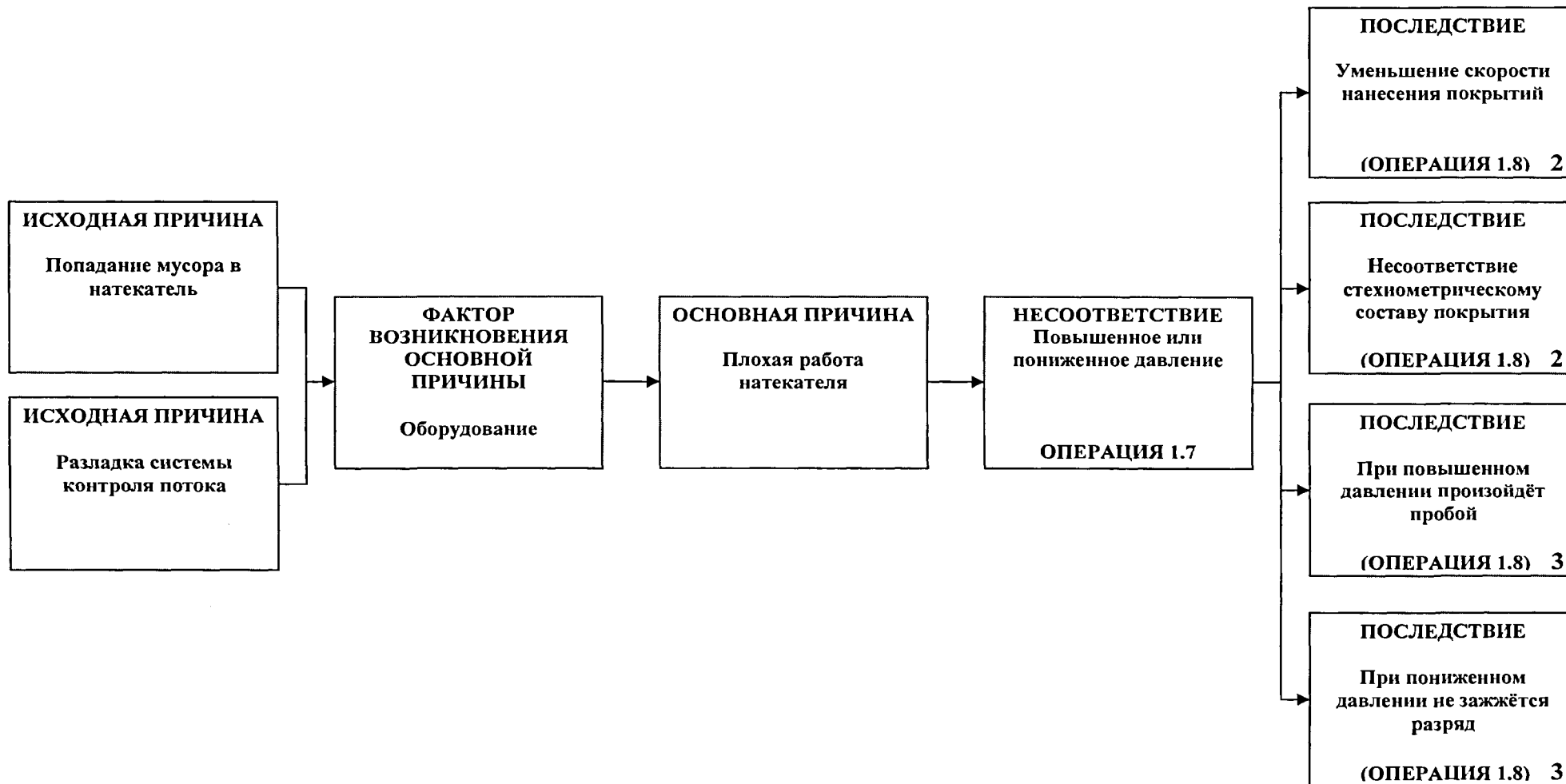


Рис. 3.3в. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения TiN покрытий

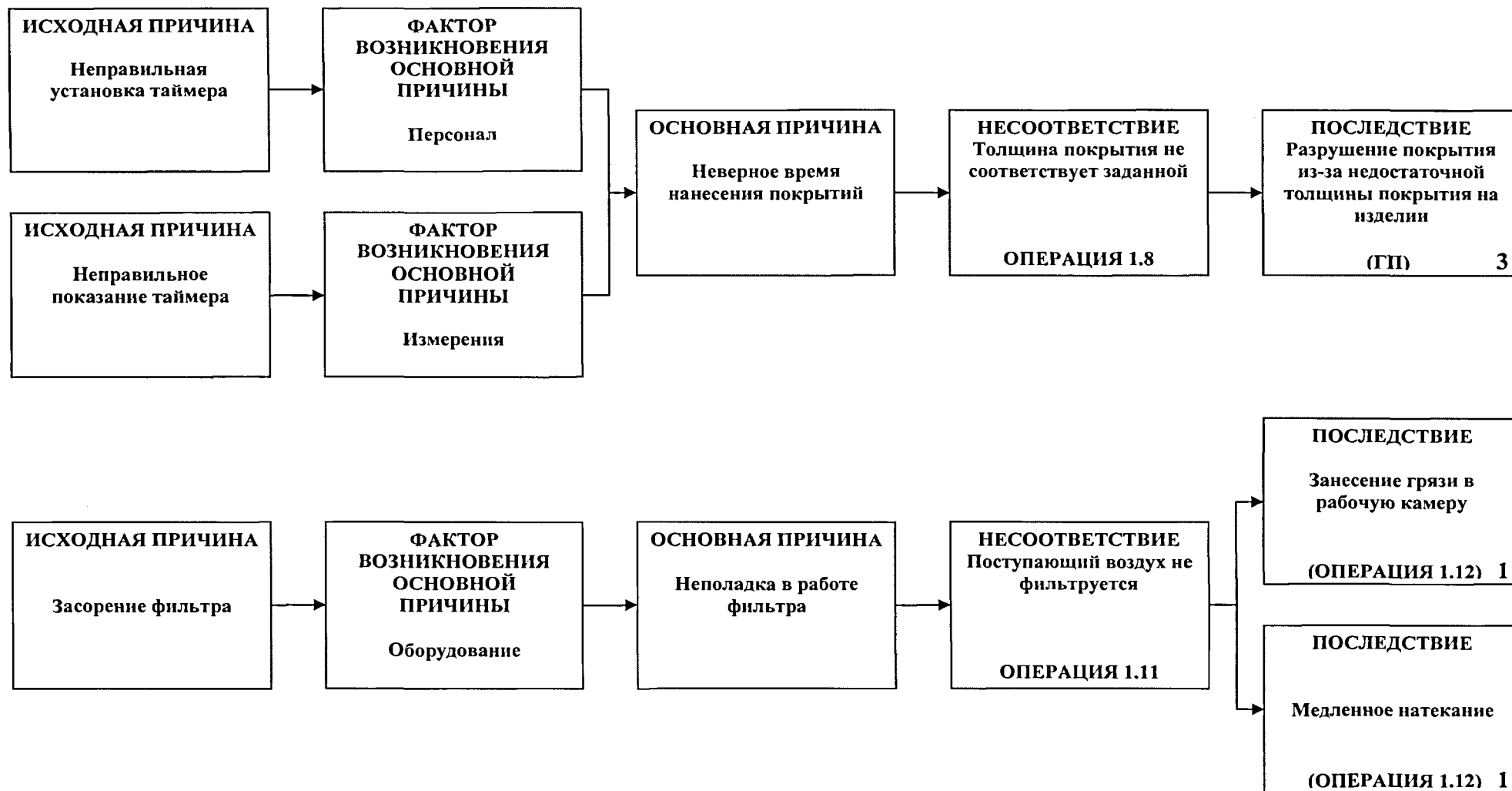


Рис. 3.3г. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения TiN покрытий

3.4. Анализ и оценка последствий возникновения потенциальных несоответствий в соответствии со степенью их критичности в технологическом процессе нанесения TiN покрытий

На основе выявленных последствий возникновения несоответствий, с учётом определённой степени их критичности, на четвёртом этапе разработанной методики построим таблицу оценки последствий возникновения потенциальных несоответствий по степени их критичности в технологическом процессе нанесения TiN покрытий (табл. 3.2). Занесём в таблицу полученные данные о количестве последствий возникновения потенциальных несоответствий по степени их критичности в каждой технологической операции и присвоенный им соответствующий коэффициент риска, суммарное количество последствий по каждому виду последствий в технологическом процессе, суммарное количество последствий в каждой технологической операции и общее количество последствий в технологическом процессе нанесения TiN покрытий. Рассчитаем вес и долю риска от последствий возникновения потенциальных несоответствий во всех операциях процесса по формулам (2.6) и (2.7), соответственно.

На основе рассчитанных в таблице данных построим гистограмму распределения последствий возникновения потенциальных несоответствий по степени их критичности в операциях технологического процесса нанесения TiN покрытий (рис. 3.4). Из построенной гистограммы видно, что наибольшее значение доли риска от опасных последствий возникновения несоответствий в технологических операциях 4 и 7, наименьшее - в технологической операции 8; наибольшее значение доли риска от критичных последствий возникновения несоответствий в технологических операциях 3 и 7, наименьшее - в технологических операциях 4 и 6; в технологической операции 11 выявлены 2 не критичных последствия возникновения несоответствий. Таким образом, очерёдность устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения TiN покрытий с учётом доли риска от последствий возникновения несоответствий будет следующей: технологические операции 4, 7, 8, 3, 6, 11.

Таблица 3.2

Оценка последствий возникновения потенциальных несоответствий по степени их критичности в технологическом процессе нанесения TiN покрытий

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ TiN ПОКРЫТИЙ														
№	Операция	Последствия потенциальных несоответствий												
		опасные				критичные				некритичные				Итого
		кол-во	коэфф.	вес	доля	кол-во	коэфф.	вес	доля	кол-во	коэфф.	вес	доля	
1.1	Включение установки нанесения покрытий и подготовка её к работе	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
1.2	Установка детали в рабочей камере	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
1.3	Закрытие крышки камеры и откачка воздуха из камеры	0	3	0	0,0	2	2	4	0,3	0	1	0	0,0	2
1.4	Напускание аргона в камеру	2	3	6	0,4	1	2	2	0,2	0	1	0	0,0	3
1.5	Нанесение подслоя Ti	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
1.6	Подача напряжения смещения на детали	0	3	0	0,0	1	2	2	0,2	0	1	0	0,0	1
1.7	Напускание азота в камеру	2	3	6	0,4	2	2	4	0,3	0	1	0	0,0	4
1.8	Нанесение TiN покрытия	1	3	3	0,2	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	1
1.9	Отключение питания электродов камеры	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
1.10	Отключение подачи рабочих газов	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
1.11	Напускание воздуха в камеру	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	2	1	2	1,0	2
1.12	Открытие крышки камеры и извлечение детали	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
Сумма:		5		15	1	6		12	1	2		2	1	13

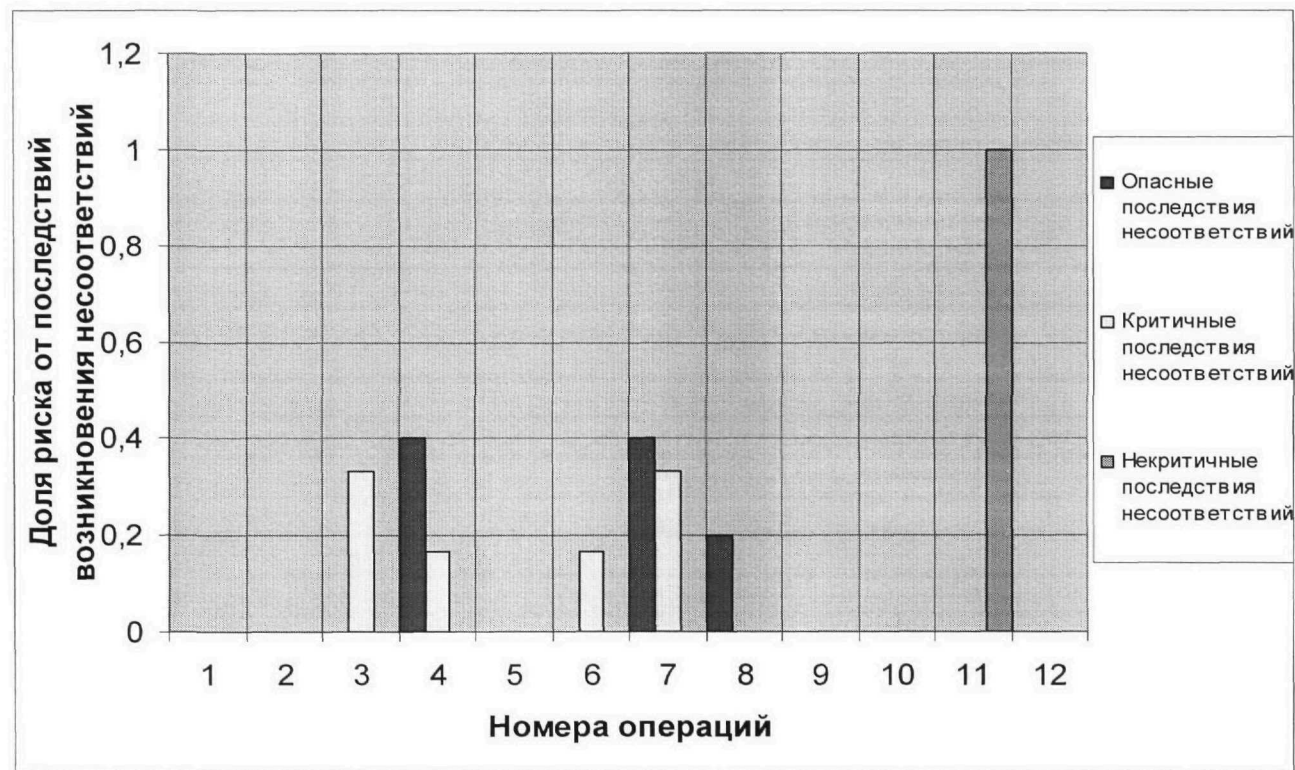


Рис. 3.4. Гистограмма распределения последствий возникновения потенциальных несоответствий по степени их критичности в операциях технологического процесса нанесения TiN покрытий

3.5. Разработка предупреждающих действий по устранению исходных причин потенциальных несоответствий в операциях технологического процесса напесения TiN покрытий

В соответствии с определённой на четвёртом этапе методики очередностью устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий, разработаем предупреждающие действия в виде практических рекомендаций по устранению исходных причин возникновения потенциальных несоответствий, определённых на третьем этапе методики, используя диаграмму процесса принятия решений (рис. 3.5).

Разработанные предупреждающие мероприятия позволили своевременно устранить исходные причины потенциальных несоответствий и, тем самым, предупредить возникновение потенциальных несоответствий в технологическом процессе.

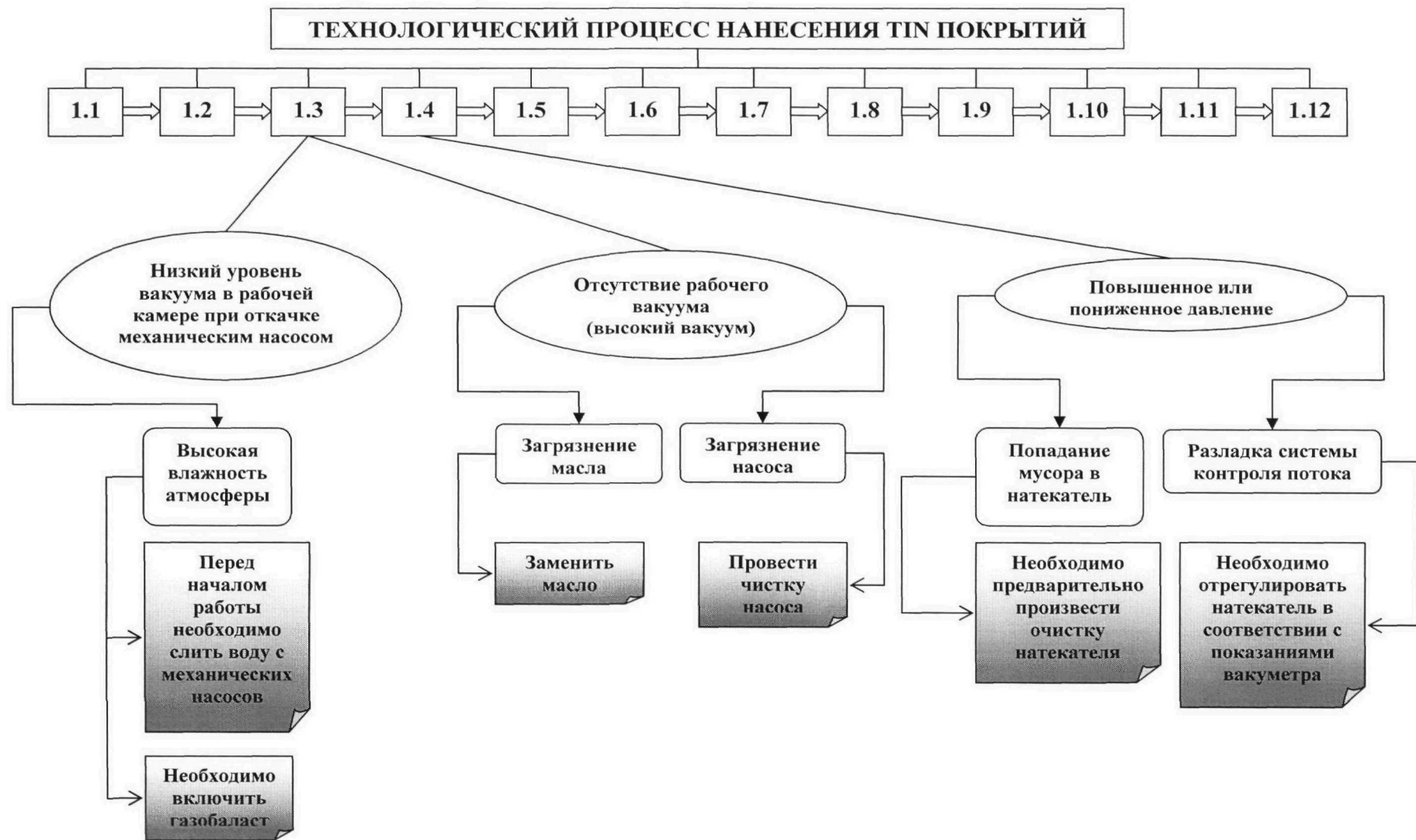


Рис. 3.5а. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения TiN покрытий

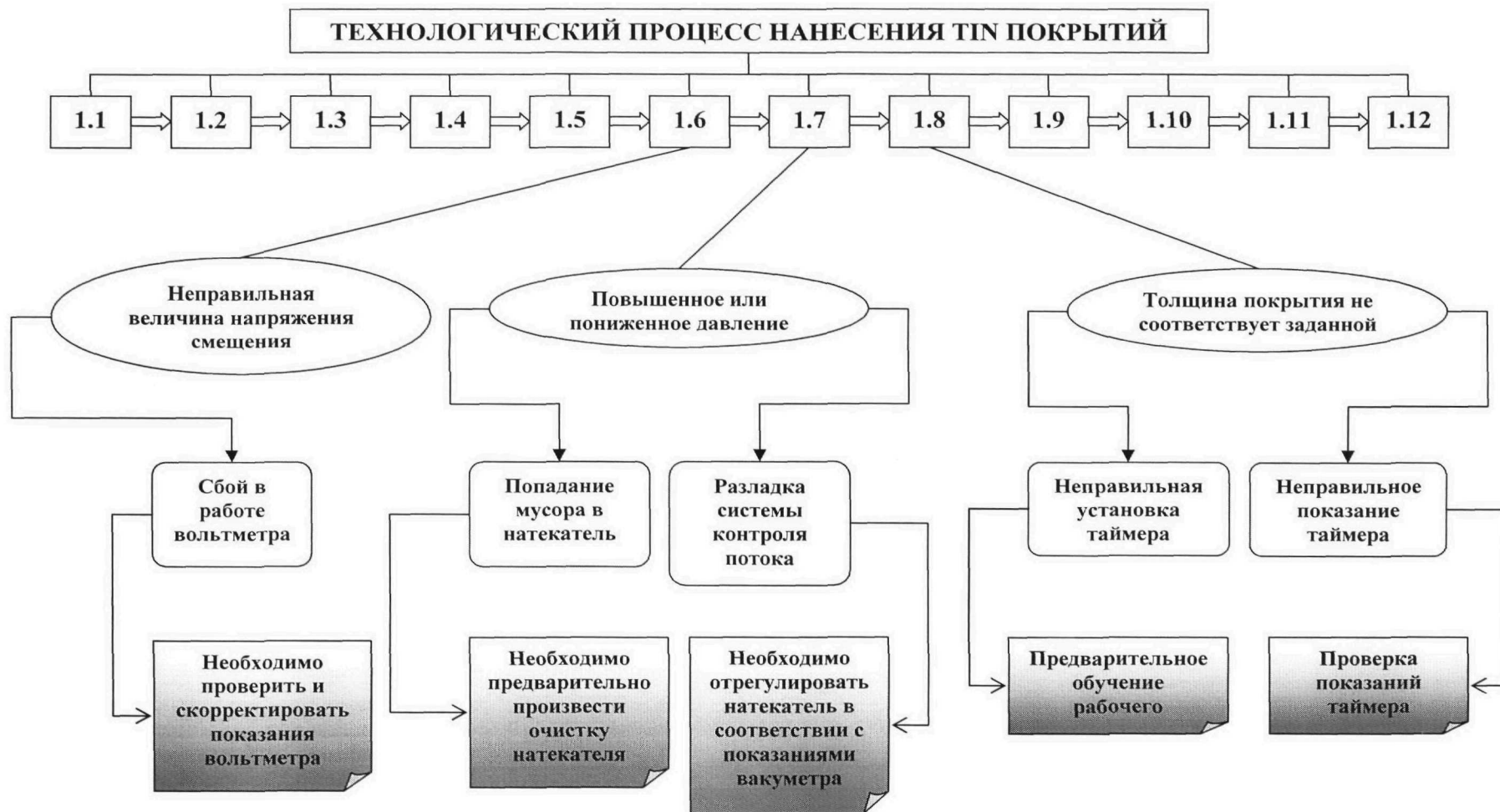


Рис. 3.56. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения TiN покрытий



Рис. 3.5в. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения TiN покрытий

3.6. Выводы по главе 3

1. Проведена экспериментальная проверка адекватности разработанной методики на примере технологического процесса нанесения TiN покрытий;
2. Проведён анализ компонентов и декомпозиция технологического процесса нанесения TiN покрытий;
3. Проведён анализ технологических операций процесса нанесения TiN покрытий и построена блок-схема их взаимодействия на основе разработанной модели технологической операции с блоком анализа потенциальных несоответствий;
4. Проведён анализ и определены потенциальные несоответствия в технологических операциях, причины и последствия их возникновения с помощью разработанной модели анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях;
5. Проведены анализ и оценка последствий возникновения потенциальных несоответствий в соответствии со степенью их критичности в технологическом процессе нанесения TiN покрытий;
6. Разработаны предупреждающие действия по устранению исходных причин потенциальных несоответствий в операциях технологического процесса нанесения TiN покрытий.

ГЛАВА 4. РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НЕСООТВЕТСТВИЙ В ООО НТЦ «СИЛАТЭ»

4.1. Технологии нанесения покрытий в ООО НТЦ «СИЛАТЭ»

Одним из направлений деятельности ООО НТЦ «СИЛАТЭ» является нанесение защитно-декоративных покрытий на поверхность различных изделий, например, ограждений, фурнитуры, скобяных изделий и т.д. Защитно-декоративные покрытия [105-106] нашли широкое применение практически во всех отраслях промышленности. Они предназначены для декоративной отделки и одновременной защиты изделий от коррозии.

Одним из наиболее перспективных материалов для нанесения защитно-декоративных покрытий являются порошковые лаки. Широкое применение порошковых лаков вместо традиционных жидких лакокрасочных материалов, содержащих органические и другие летучие вещества, стало характерным признаком современной технологии.

Порошковые лаки позволяют получать покрытия с высокой адгезией к металлам, хорошей коррозионной стойкостью и высокой ударопрочностью. В качестве примера можно привести следующее: на детали электрооборудования, выпускаемые Московским заводом электроизмерительных приборов, нанесли порошковые полимерные покрытия, после чего были проведены эквивалентные 6 годам эксплуатации климатические испытания деталей с этими покрытиями, гальваническими покрытиями, а также крашенными различными жидкими ЛКМ. Из всех этих покрытий испытания выдержали только порошковые.

Важным качеством порошковых покрытий является также то, что для получения блестящих слоев при грунтовании подготовка поверхности для тех же классов покрытий может быть существенно худшей по шероховатости, чем для жидких лакокрасочных материалов (для III класса Rz до 60 мкм). Технология подготовки поверхности металлических изделий для нанесения порошковых

лаков (обезжиривание, промывка, сушка) практически идентична технологии подготовки поверхности при нанесении жидких лаков.

Использование порошковых лаков в значительной мере устраняет также одну из основных проблем жидколаковых технологий. Применение этих технологий требует при изготовлении высококачественной продукции практически полного удаления пыли из помещений окраски и сушки. Дело в том, что осаждение на покрытой жидким лаком поверхности хотя бы нескольких пылинок приводит, в конечном счете, при изготовлении изделий с глянцевыми покрытиями, к браку. Применение порошковых лаков предпочтительней также в плане экологической безопасности, так как исключает из материалов, применяемых на этапе нанесения покрытий растворители, необходимые при использовании жидких лаков.

Технология порошковых лаков хотя и требует определенной степени обеспыленности помещений, но эти требования существенно мягче, так как небольшое количество мелкодисперсных пылинок, попавших на покрытую лаком поверхность, растворяется в покрытии при его полимеризации в печи.

Порошковые лаки наносятся методом окраски в электростатическом поле. Как известно, использование этого метода для жидколаковых технологий невозможно для окраски деталей особо сложной конфигурации. В этом плане порошковая технология также имеет свои преимущества, так как обеспечивает окраску поверхностей более сложных конфигураций, хотя и имеет определенные ограничения. Степень сложности конфигурации деталей и качество окраски в электростатическом поле, доступные для порошковой технологии во многом определяются значением величины высокого напряжения, используемого на окраске и диэлектрическими свойствами порошкового материала.

Полимеризация нанесенных порошковых покрытий проводится в печах при температуре 180-200° С. После этого детали охлаждаются в печи до температуры 100° С, затем их выгружают из печи и охлаждают при комнатной температуре.

При создании трехслойной композиции могут возникнуть трудности следующего характера - при отверждении третьего (порошкового) слоя покрытия

происходит частичное растрескивание металлического покрытия, связанное с термическими напряжениями, возникающими при нагреве. Эта проблема может быть решена путем подбора соответствующих марок лака, а также доработкой технологического режима отверждения.

Покрытия из меди и латуни наносятся на загрунтованную поверхность деталей методом магнетронного распыления на установках УМН-27К (коаксиальный магнетрон) и УМН-9 (планарный магнетрон), с предварительной очисткой поверхности тлеющим разрядом. Испытания показали удовлетворительную адгезию меди и латуни к грунту при создании как глянцевых, так и декорированных композиций.

Покрытия из нитрида титана наносятся на грунтованную поверхность с помощью дугового источника плазмы с интегрально-холодным катодом. Нанесённые покрытия также обладают удовлетворительной адгезией к подложке. Кроме того, данные покрытия в большинстве случаев не требуют нанесения защитного лакового слоя.

В результате проведённых исследований, можно сделать следующие выводы:

- создание глянцевых и декорированных трехслойных металлолаковых покрытий при правильном подборе технологических режимов и материалов не связано с трудностями принципиального характера, и данная технология может быть рекомендована для широкого применения в промышленности;
- металлопокрытия с использованием порошковых лаков обладают более высоким блеском, а также повышенной влагостойкостью и прочностью по сравнению с подобными покрытиями на основе жидких лаков;
- использование порошковых лаков имеет существенное преимущество в плане экологической безопасности по сравнению с жидкими лаками;
- нанесение (в том числе, с помощью вакуумно-дугового источника плазмы с интегрально-холодным протяженным катодом) вместо

металлического слоя коррозионно-стойких соединений металлов на грунт (например, нитрида титана) позволяет в ряде случаев заменять трехслойные покрытия двухслойными.

4.2. Анализ и предупреждение возникновения потенциальных несоответствий в комплексном технологическом процессе нанесения многослойных защитно-декоративных покрытий

Одной из технологий нанесения покрытий, основанной на использовании порошковых лаков и применяемой в ООО НТЦ «СИЛАТЭ», является комплексная технология нанесения многослойных защитно-декоративных покрытий на металлические изделия сложной формы. Рассмотрим применение разработанной методики анализа и предупреждения возникновения потенциальных несоответствий в комплексном технологическом процессе нанесения многослойных защитно-декоративных покрытий на металлические изделия сложной формы.

4.2.1. Анализ компонентов и декомпозиция комплексного технологического процесса нанесения многослойных защитно-декоративных покрытий

Комплексный технологический процесс нанесения многослойных защитно-декоративных покрытий на металлические изделия сложной формы состоит из четырёх последовательных технологических процессов, каждый из которых представляет собой один из этапов нанесения определённого слоя покрытия на поверхность изделия. Первый технологический процесс – процесс нанесения TiN покрытий (1-ый слой многослойной композиции) – включает в себя 12 технологических операций; второй технологический процесс – процесс нанесения порошкового грунта (2-ой слой многослойной композиции) – включает в себя 11 технологических операций; третий технологический процесс – процесс нанесения декоративного покрытия (3-ий слой многослойной композиции) – включает в себя 10 технологических операций и четвёртый технологический процесс – процесс нанесения защитного покрытия (порошкового лака) (4-ый слой многослойной

композиции) – включает в себя 11 технологических операций. Построим блок-схему декомпозиции комплексного технологического процесса нанесения многослойных защитно-декоративных покрытий на металлические изделия сложной формы (рис. 4.1). Перечень технологических операций, входящих в соответствующий процесс, приведён в таблицах 4.1–4.4.

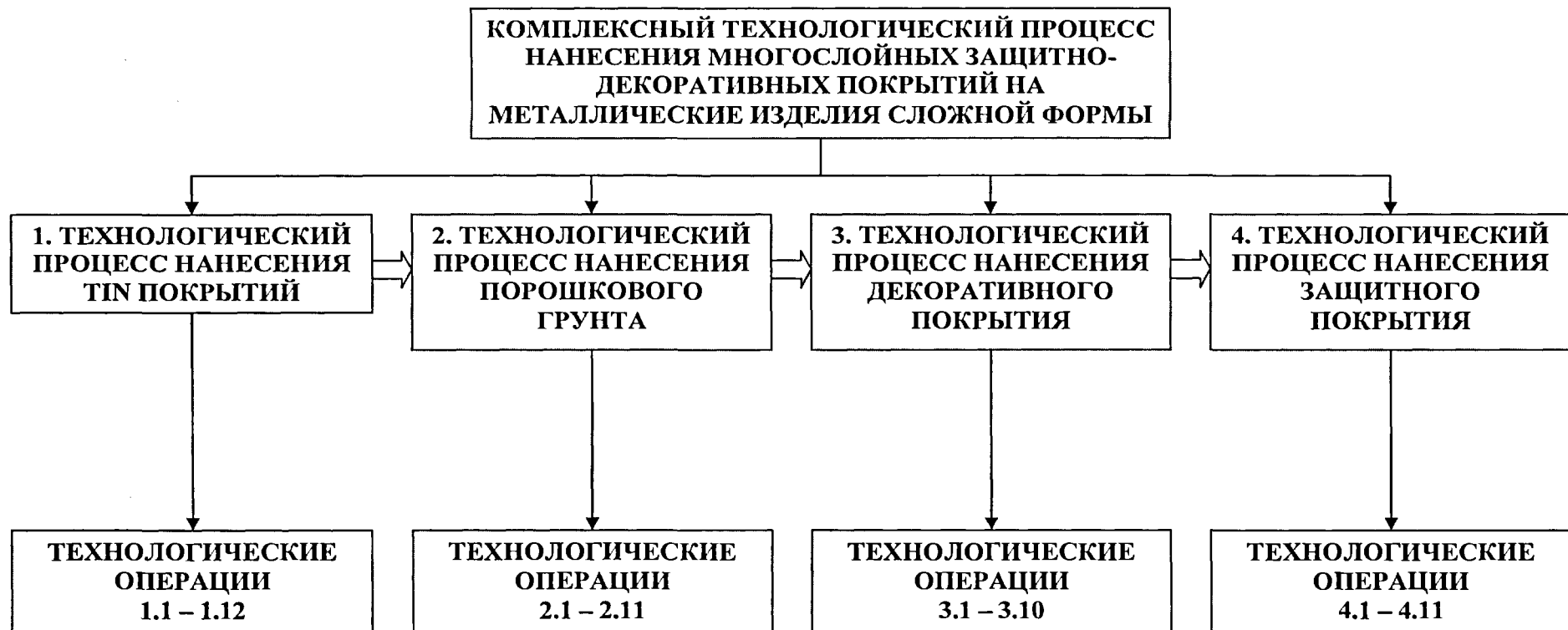


Рис. 4.1. Декомпозиция комплексного технологического процесса нанесения многослойных защитно-декоративных покрытий на металлические изделия сложной формы

1. Технологический процесс нанесения TiN покрытий

№	Операция
1.1	Включить установку нанесения покрытий и подготовить к работе
1.2	Установить детали в рабочей камере
1.3	Закрыть крышку камеры и произвести откачку камеры
1.4	Напустить аргон в камеру
1.5	Нанести подслой Ti
1.6	Подать напряжение смещения на детали
1.7	Напустить азот в камеру
1.8	Нанести TiN покрытие
1.9	Отключить питание электродов камеры
1.10	Отключить подачу рабочих газов
1.11	Напустить воздух в камеру
1.12	Открыть крышку камеры и достать детали

2. Технологический процесс нанесения порошкового грунта

№	Операция
2.1	Включить вентиляцию, камеру нанесения порошковых покрытий и термошкаф полимеризации и подготовить их к работе
2.2	Закрепить детали на технологической оснастке
2.3	Установить оснастку с деталями на карусель камеры нанесения покрытий
2.4	Заполнить бачок распылителя порошком (грунт) с помощью мерного стакана
2.5	Включить высоковольтный блок питания распылителя
2.6	Включить карусель камеры нанесения покрытий
2.7	Нанести покрытие порошкового грунта
2.8	Снять оснастку с деталями с карусели камеры нанесения покрытий и установить ее на транспортную тележку
2.9	Подвести транспортную тележку с деталями к термошкафу и установить оснастку с деталями в шкаф
2.10	Провести полимеризацию
2.11	Открыть шкаф и достать детали

3. Технологический процесс нанесения декоративного покрытия

№	Операция
3.1	Включить установку нанесения покрытий магнетронным распылением и подготовить к работе
3.2	Установить детали в рабочей камере
3.3	Закрыть дверь камеры и произвести откачку воздуха из камеры
3.4	Включить манипулятор
3.5	Напустить аргон в камеру
3.6	Включить магнетрон и нанести декоративное покрытие (латунь)
3.7	Выключить магнетрон и манипулятор
3.8	Отключить подачу аргона
3.9	Напустить воздух в камеру
3.10	Открыть дверь камеры и достать детали

Таблица 4.4

4. Технологический процесс нанесения защитного покрытия (порошкового лака)

№	Операция
4.1	Включить вентиляцию, камеру нанесения порошковых покрытий и термошкаф полимеризации и подготовить их к работе
4.2	Закрепить детали на технологической оснастке
4.3	Установить оснастку с деталями на карусель камеры нанесения покрытий
4.4	Заполнить бачок распылителя порошком (лак) с помощью мерного стакана
4.5	Включить высоковольтный блок питания распылителя
4.6	Включить карусель камеры нанесения покрытий
4.7	Нанести покрытие порошкового лака
4.8	Снять оснастку с деталями с карусели камеры нанесения покрытий и установить ее на транспортную тележку
4.9	Подвести транспортную тележку с деталями к термошкафу и установить оснастку с деталями в шкаф
4.10	Провести полимеризацию лака
4.11	Открыть шкаф и достать детали

4.2.2. Анализ технологических операций комплексного технологического процесса нанесения многослойных защитно-декоративных покрытий и построение блок-схемы их взаимодействия

Проведём анализ всех технологических операций и построим модели их взаимодействия в каждом технологическом процессе в соответствии с разработанной во второй главе моделью технологической операции с блоком анализа потенциальных несоответствий на основе процессного подхода и метода «6М» (рис. 4.2-4.5).

Обозначения, используемые при построении модели:

- БА – блок анализа потенциальных несоответствий;
- Ф – факторы возникновения причин потенциальных несоответствий (метод 6 «М»);
-  - входы и выходы технологических операций;
- ПД - подготовка деталей перед началом комплексного технологического процесса;
- ГП – готовая продукция;
-  - причины потенциальных несоответствий;
-  - последствия потенциальных несоответствий.

На основе построенных моделей, проведём анализ каждой технологической операции на наличие потенциальных несоответствий, с учётом факторов, влияющих на неё и мест возможного проявления последствий потенциальных несоответствий.

**1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ
TiN ПОКРЫТИЙ**

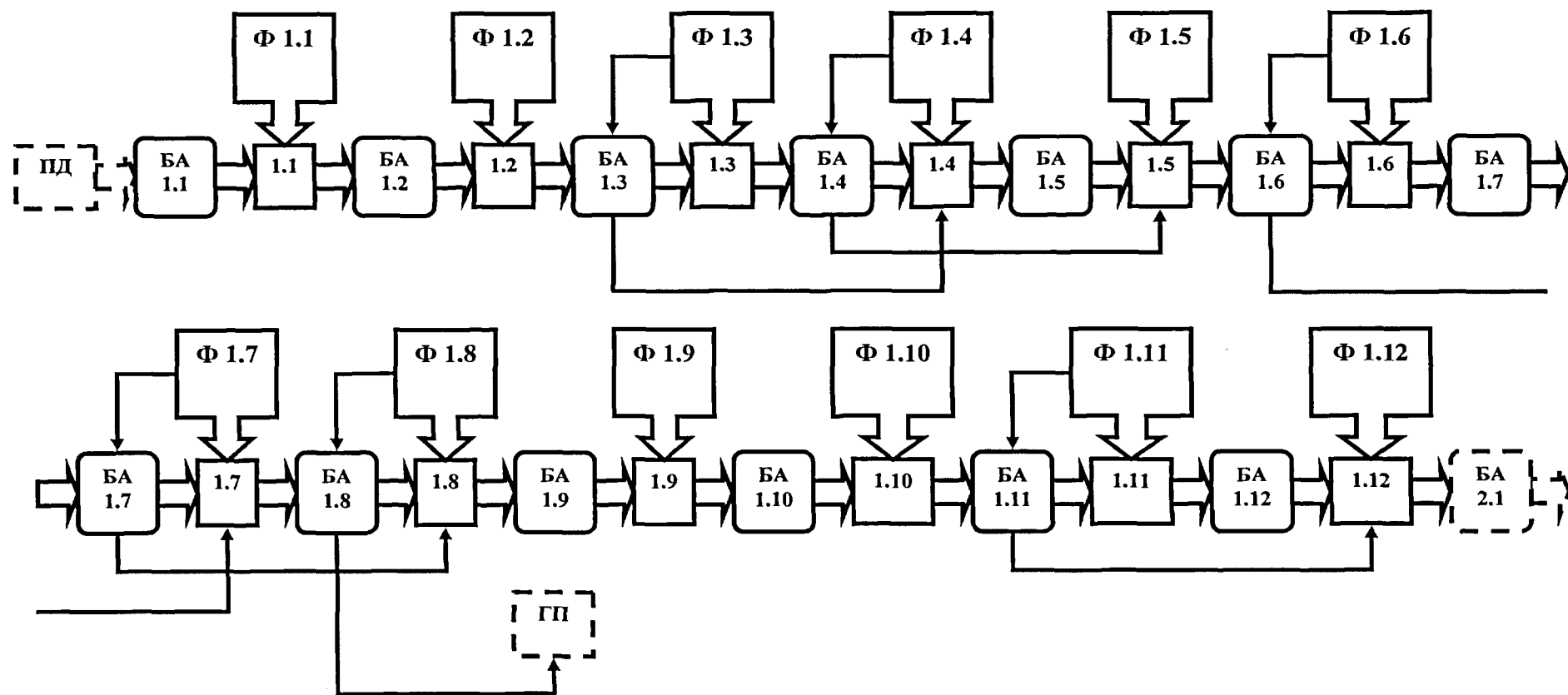


Рис. 4.2. Модель взаимодействия технологических операций в процессе нанесения TiN покрытий

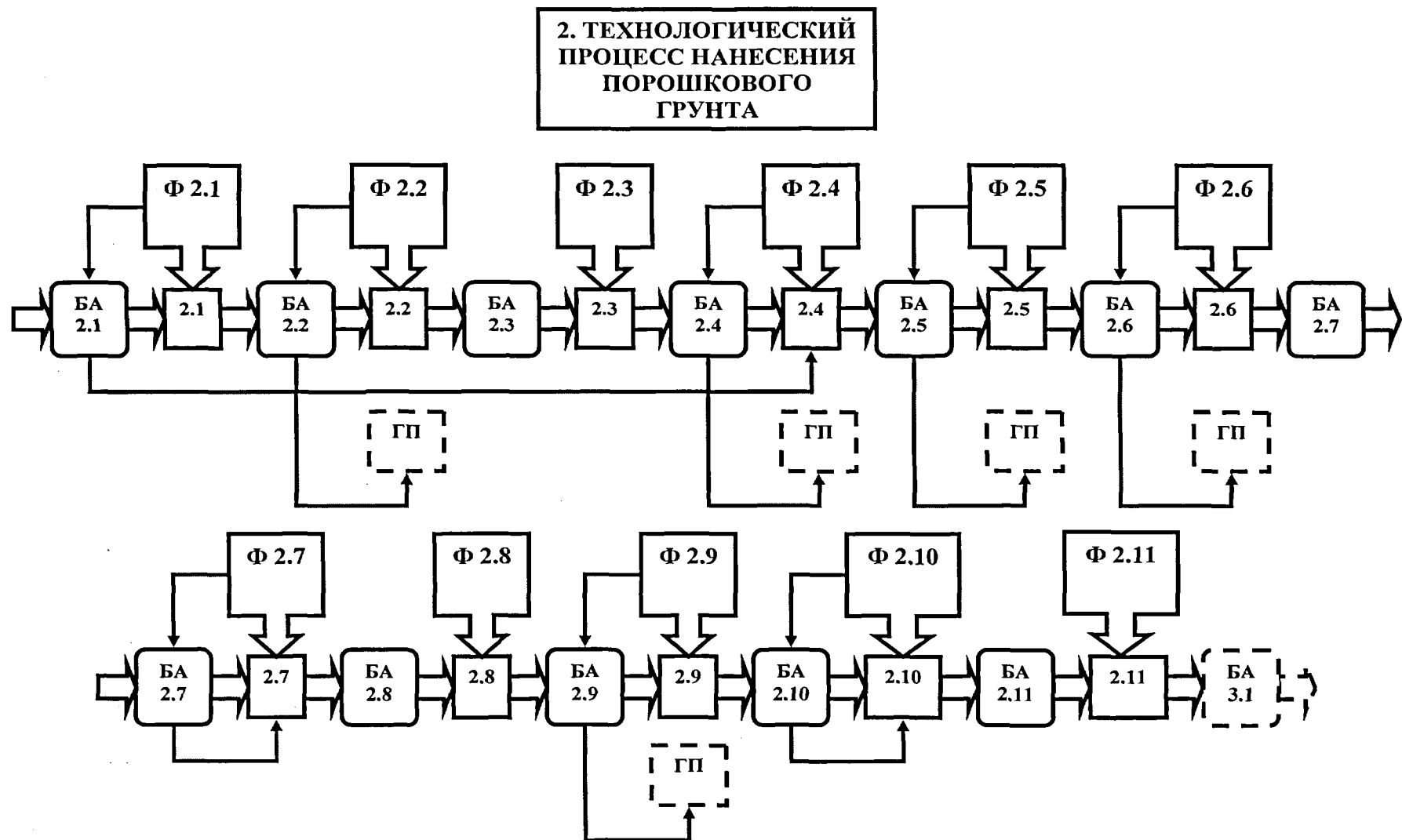


Рис. 4.3. Модель взаимодействия технологических операций в процессе нанесения порошкового грунта

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ ДЕКОРАТИВНОГО ПОКРЫТИЯ

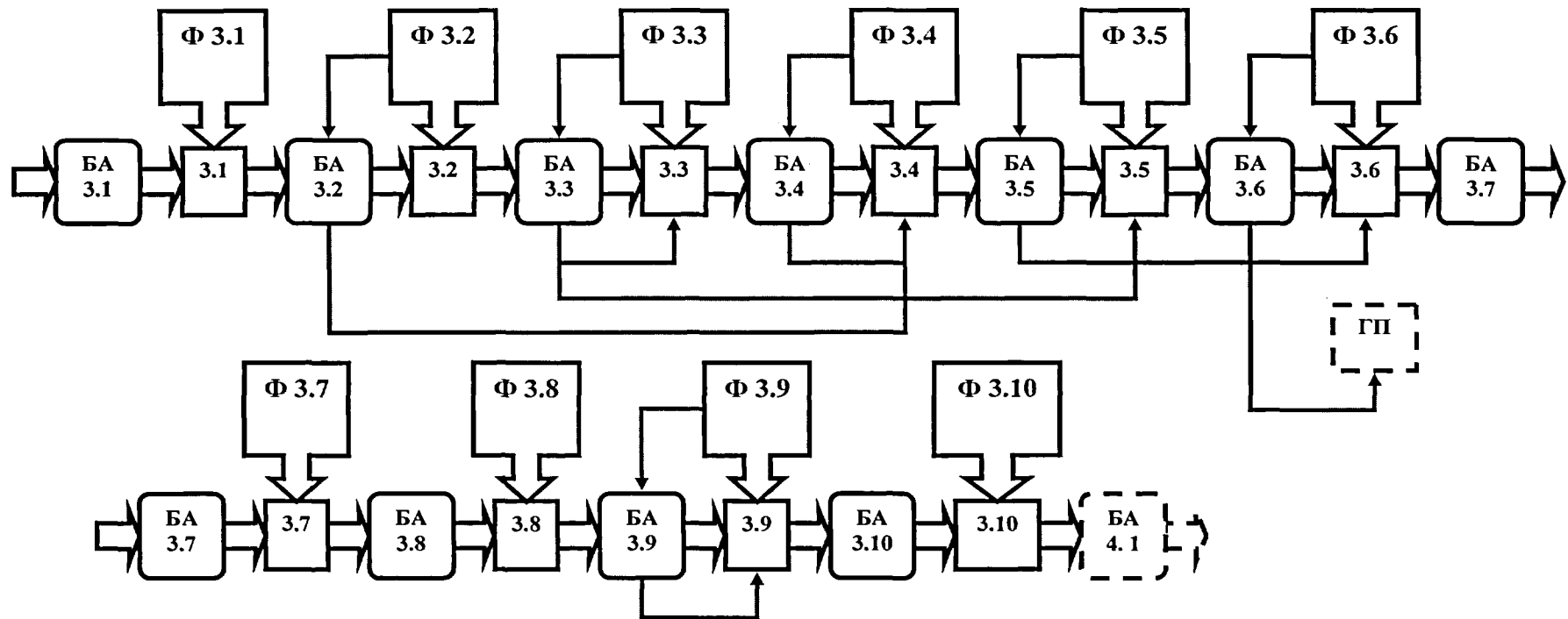


Рис. 4.4. Модель взаимодействия технологических операций в процессе нанесения декоративного покрытия

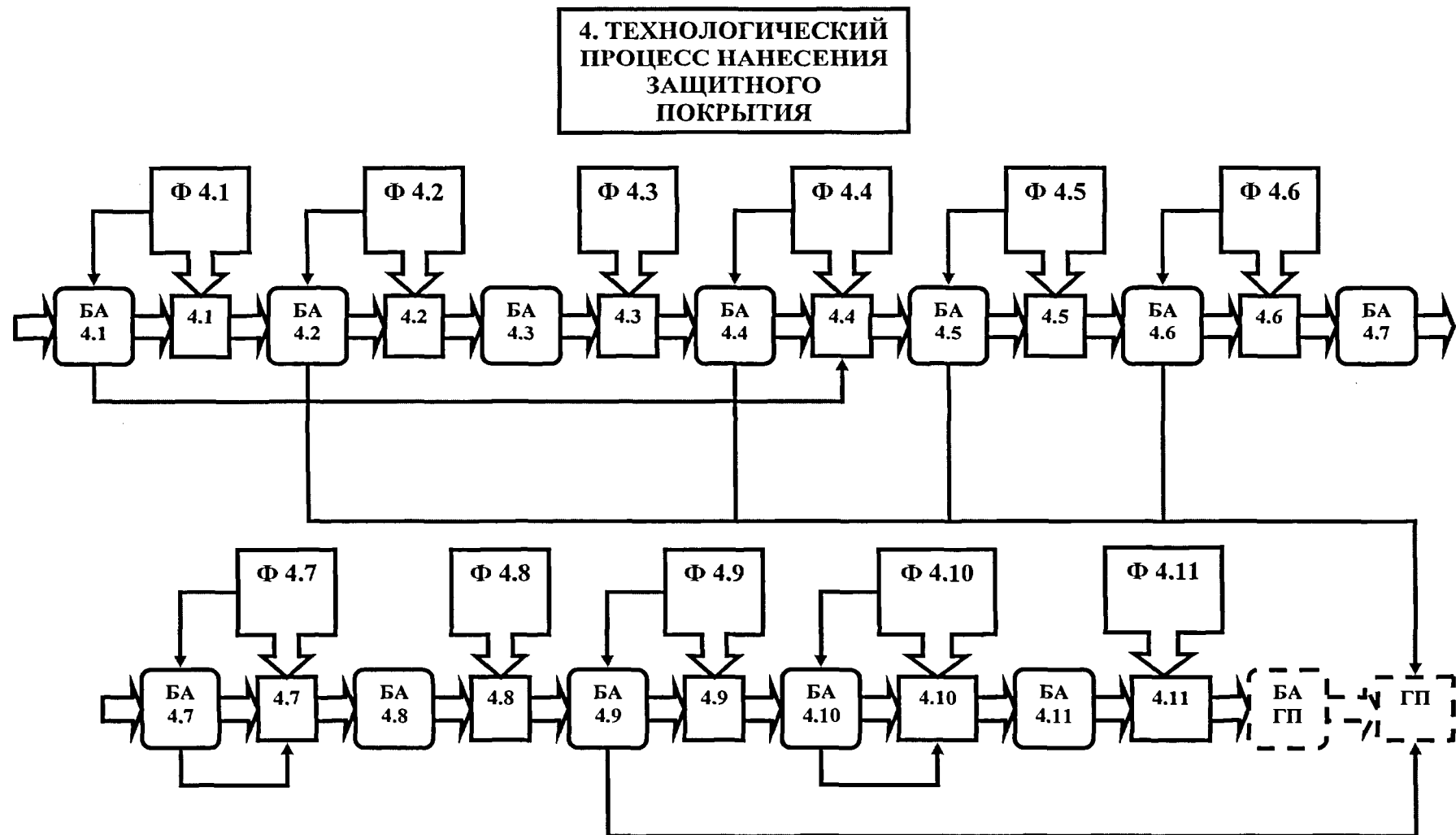


Рис. 4.5. Модель взаимодействия технологических операций в процессе нанесения защитного покрытия

4.2.3. Анализ и определение потенциальных несоответствий, причин и последствий их возникновения в технологических операциях комплексного технологического процесса нанесения защитно-декоративных покрытий

На основе построенных выше моделей взаимодействия технологических операций, с помощью разработанной модели анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции, проведём анализ и определим потенциальные несоответствия, причины их возникновения и последствия их проявления, а также проведём экспертную оценку степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий в технологических операциях в соответствующих операциях технологических процессов (рис. 4.6-4.9).

В результате проведённого анализа было выявлено:

- 1) в операциях технологического процесса нанесения TiN покрытий: 7 потенциальных несоответствий в 6 технологических операциях, определены 11 возможных исходных причин их возникновения и 13 возможных последствий и мест их проявления (рис. 4.2). Проведена экспертная оценка степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий, в результате которой определены 5 опасных, 6 критичных и 2 некритичных последствия возникновения потенциальных несоответствий;
- 2) в операциях технологического процесса нанесения порошкового грунта: 8 потенциальных несоответствий в 8 технологических операциях, определены 11 возможных исходных причин их возникновения и 10 возможных последствий и мест их проявления (рис. 4.3). Проведена экспертная оценка степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий, в результате которой определены 4 опасных и 6 критичных последствий возникновения потенциальных несоответствий;
- 3) в операциях технологического процесса нанесения декоративного покрытия: 6 потенциальных несоответствий в 5 технологических операциях, определены 8 возможных исходных причин их возникновения и 11 возможных

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ TiN ПОКРЫТИЙ

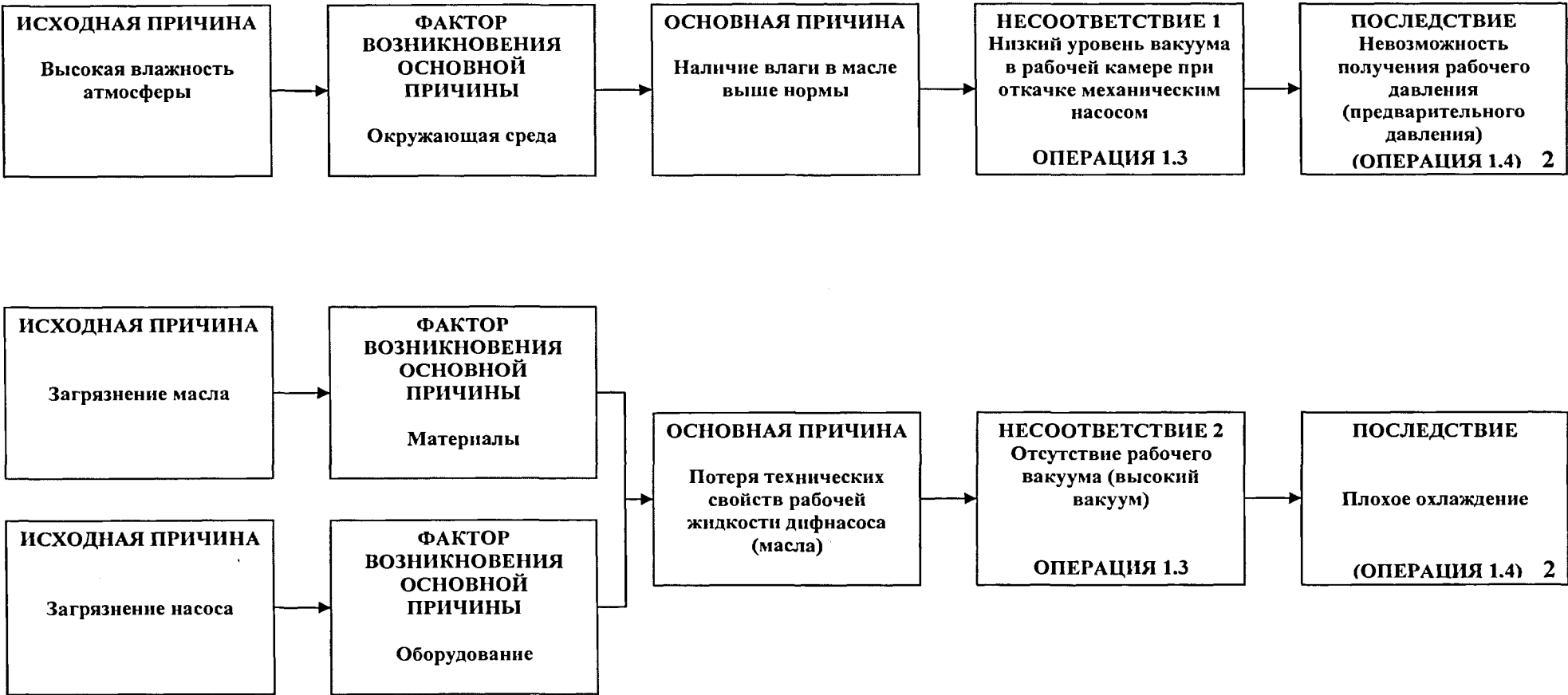


Рис. 4.6а. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения TiN покрытий

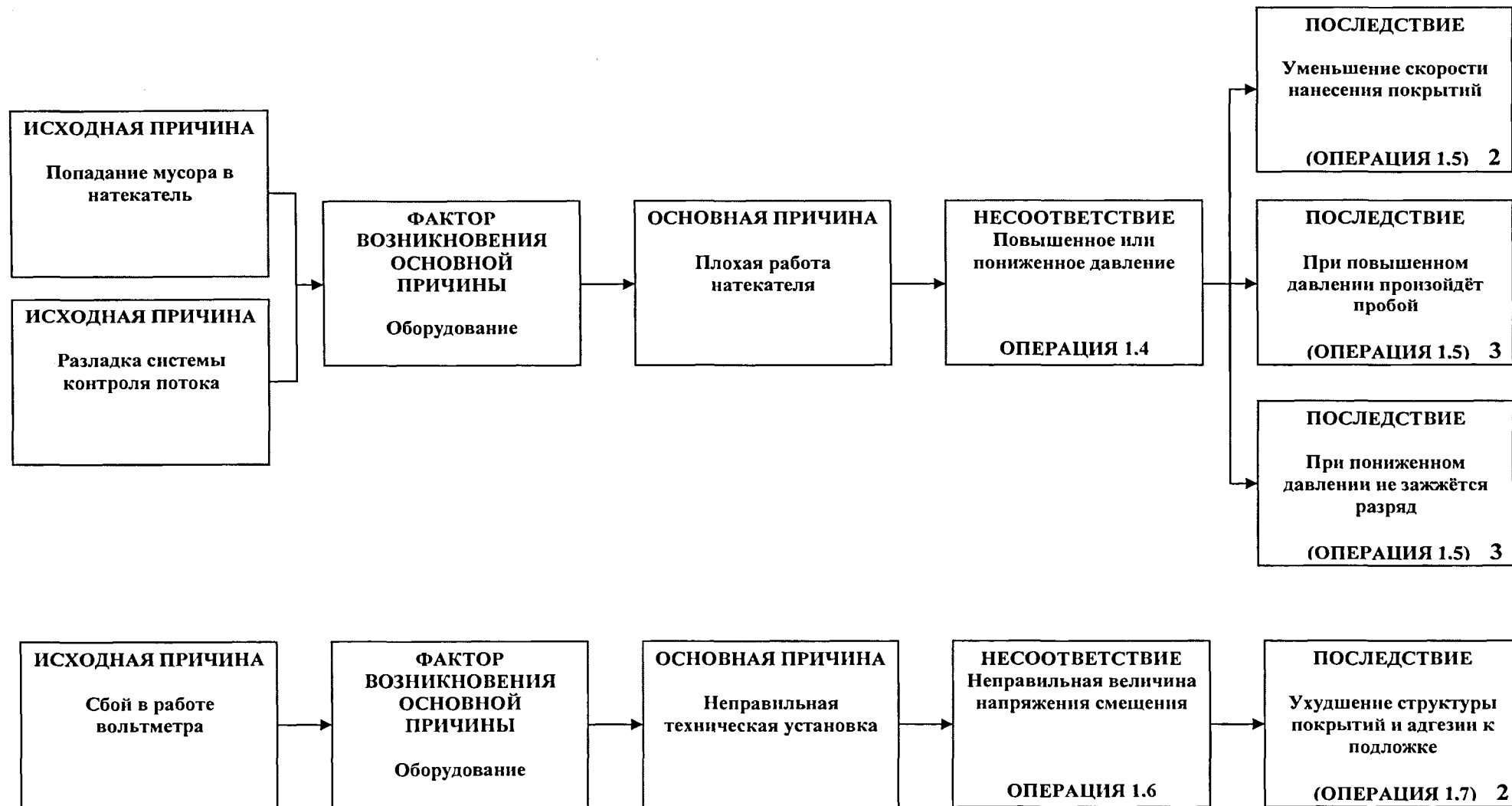


Рис. 4.66. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения TiN покрытий

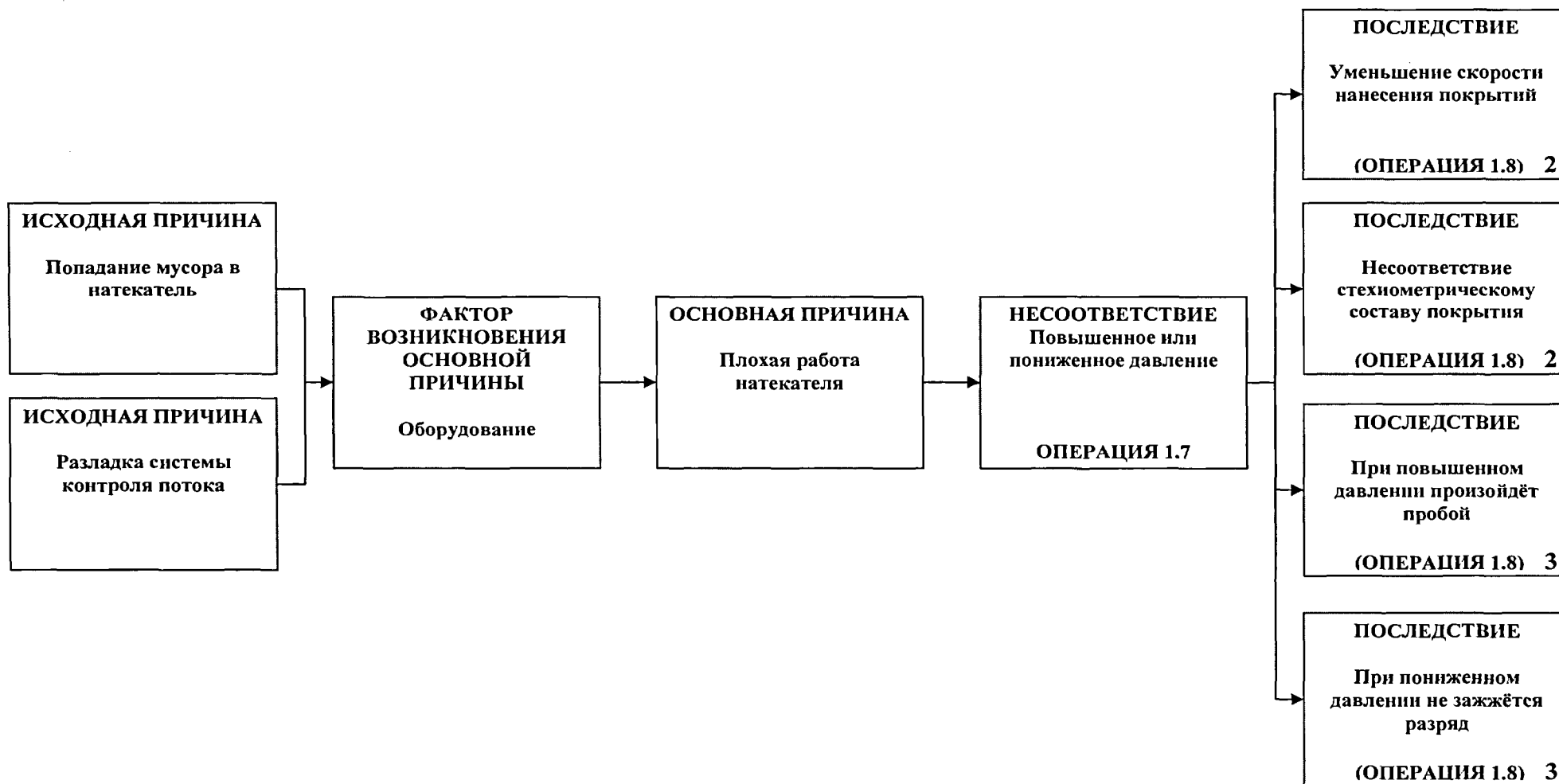


Рис. 4.6в. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения TiN покрытий

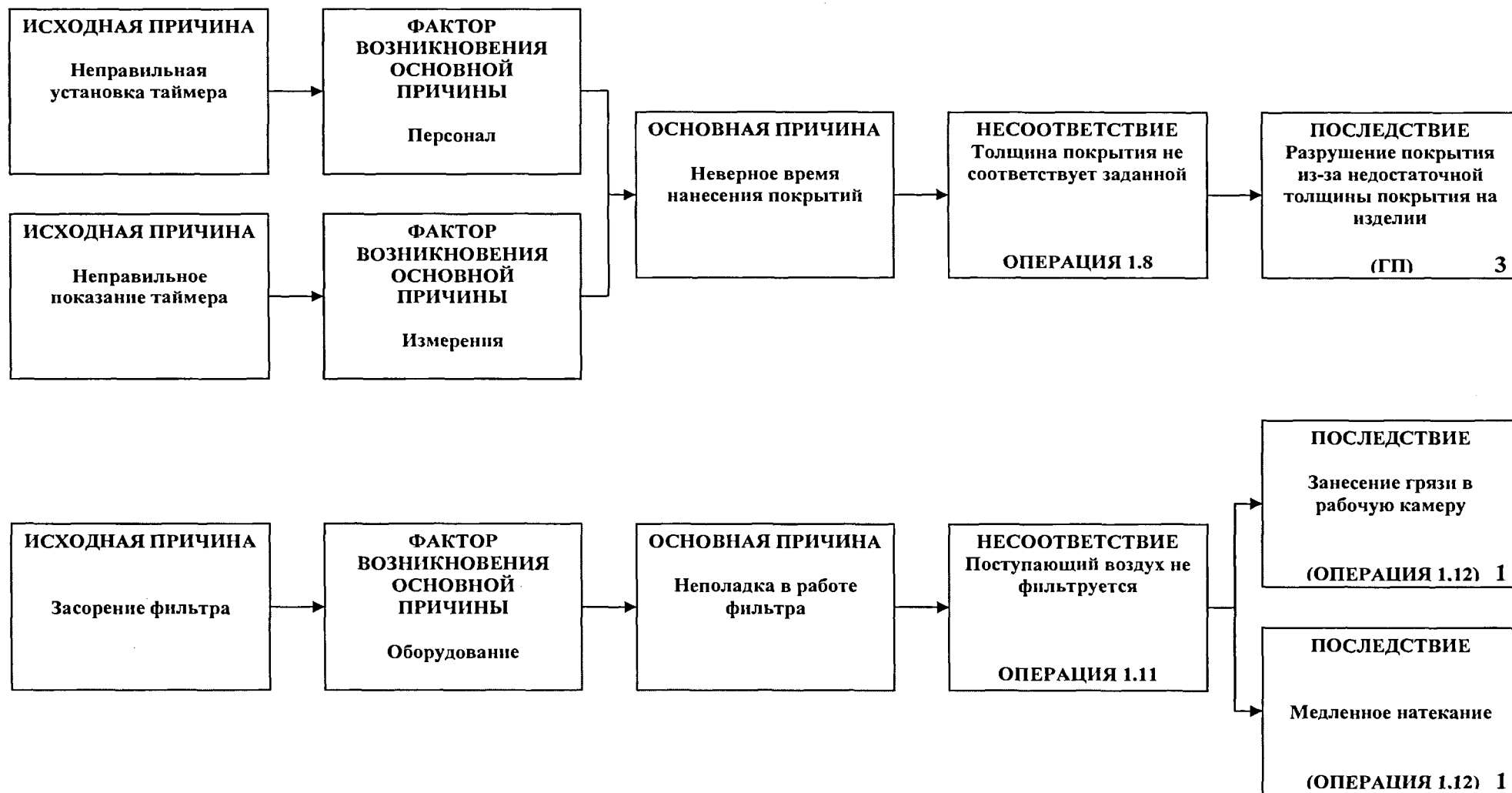


Рис. 4.6г. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения TiN покрытий

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ ПОРОШКОВОГО ГРУНТА

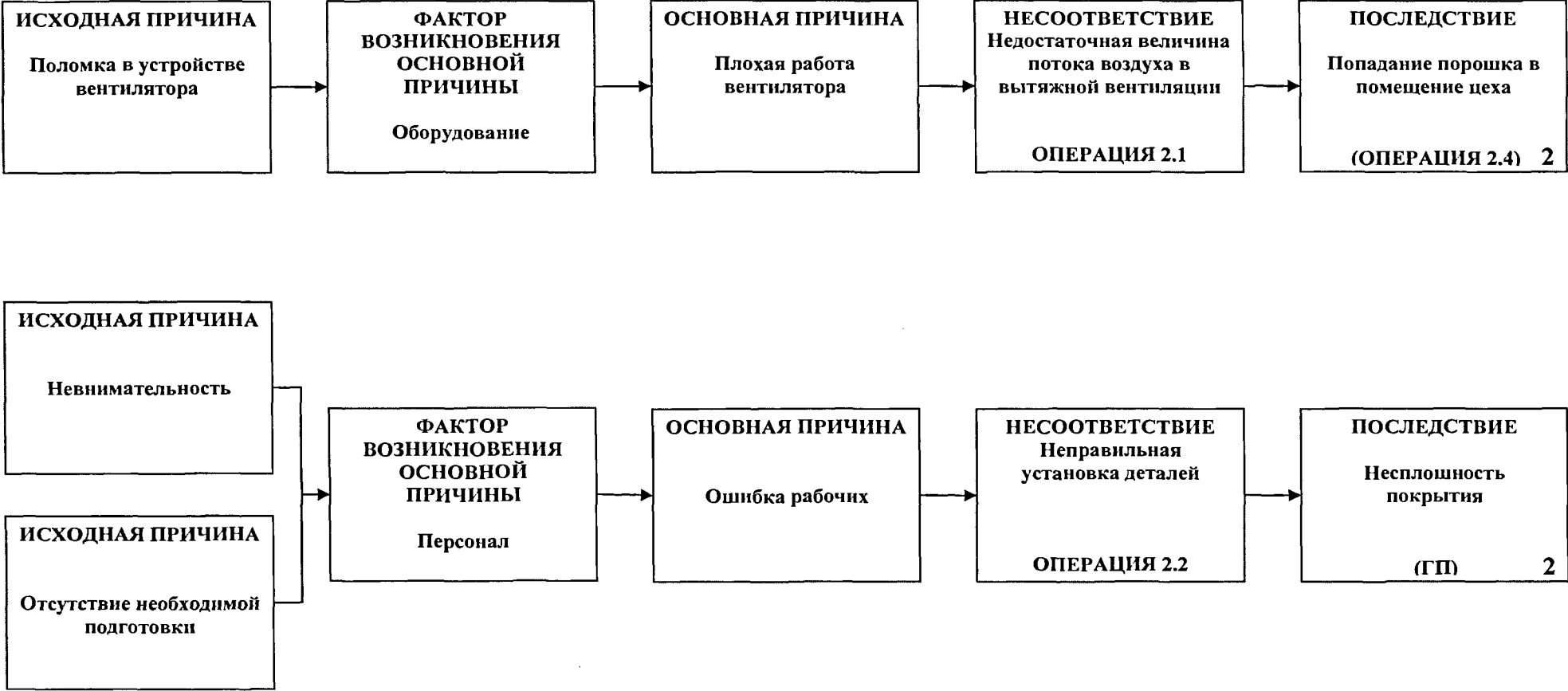


Рис. 4.7а. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения порошкового грунта

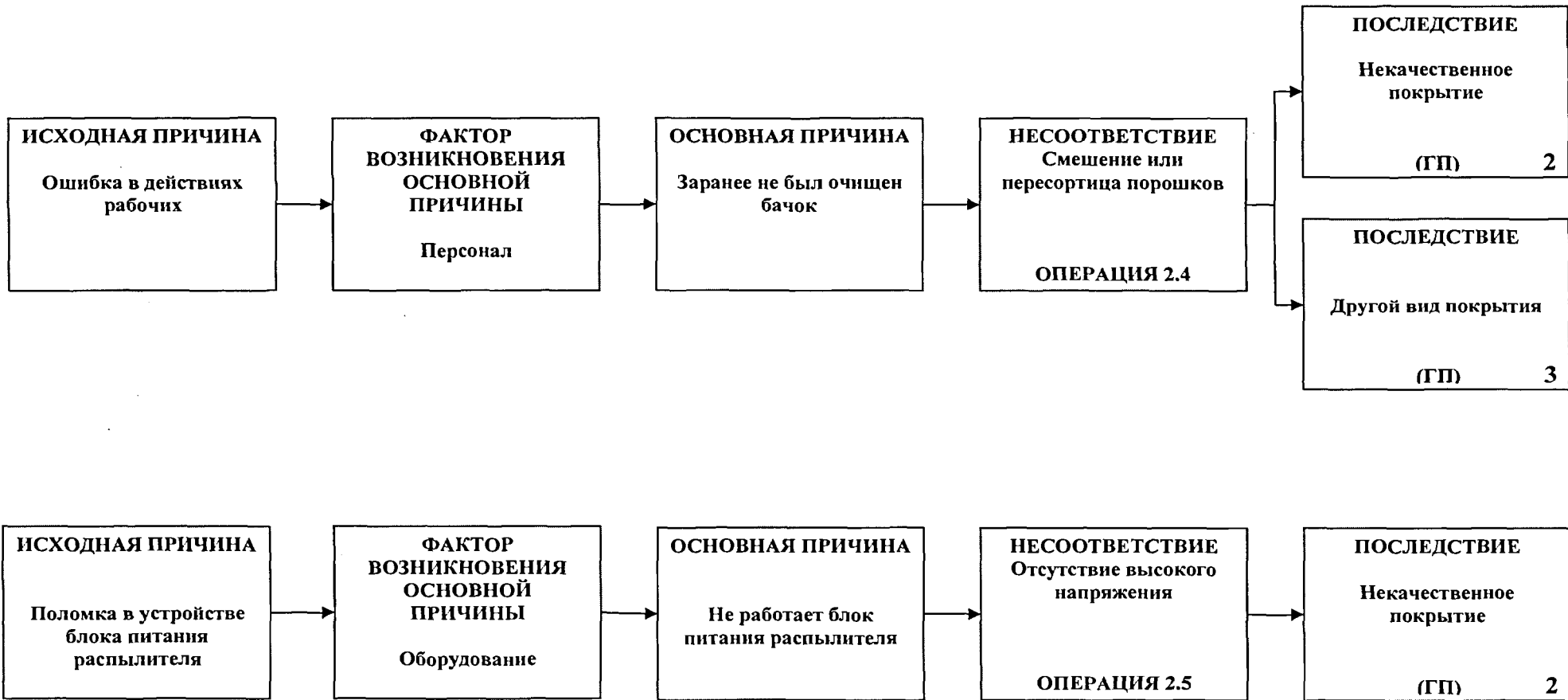


Рис. 4.76. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения порошкового грунта

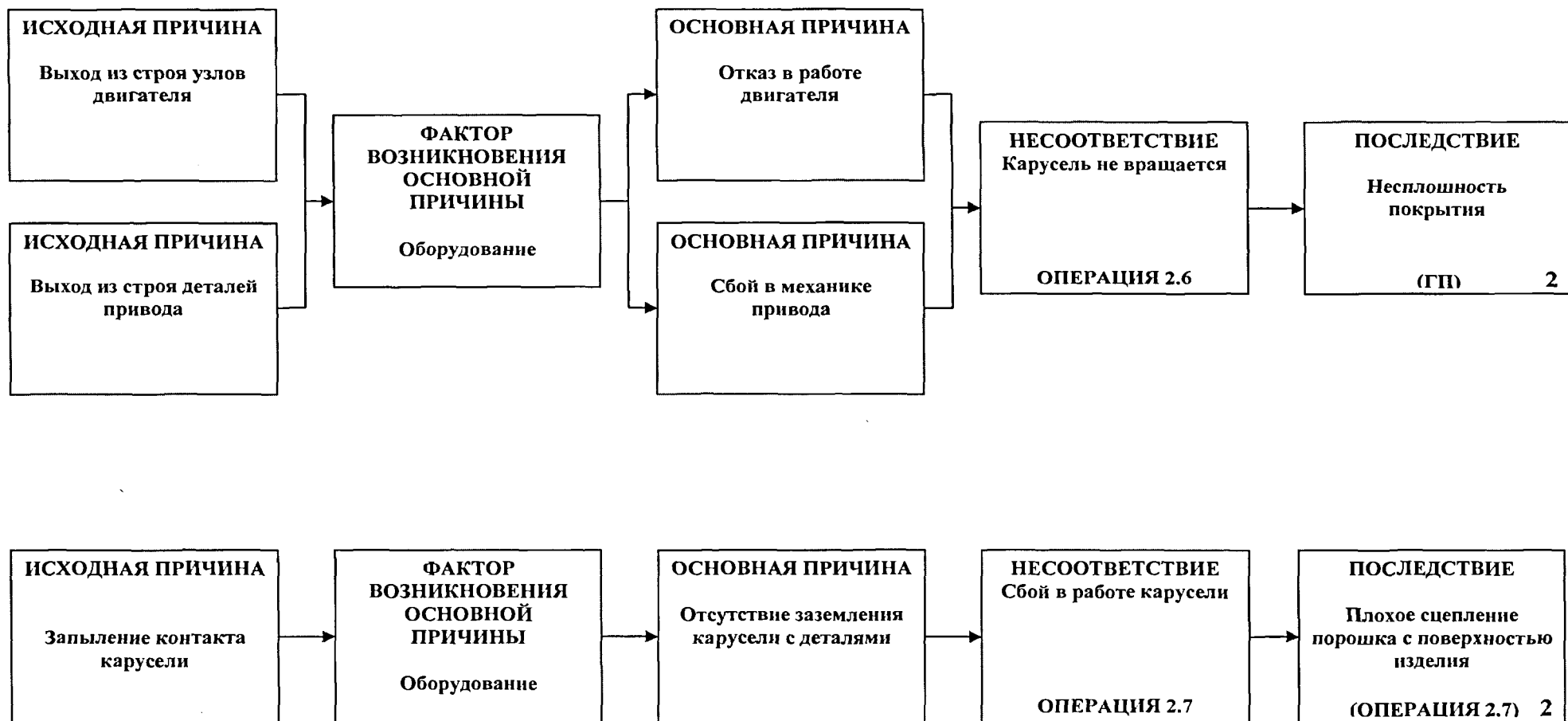


Рис. 4.7в. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения порошкового грунта

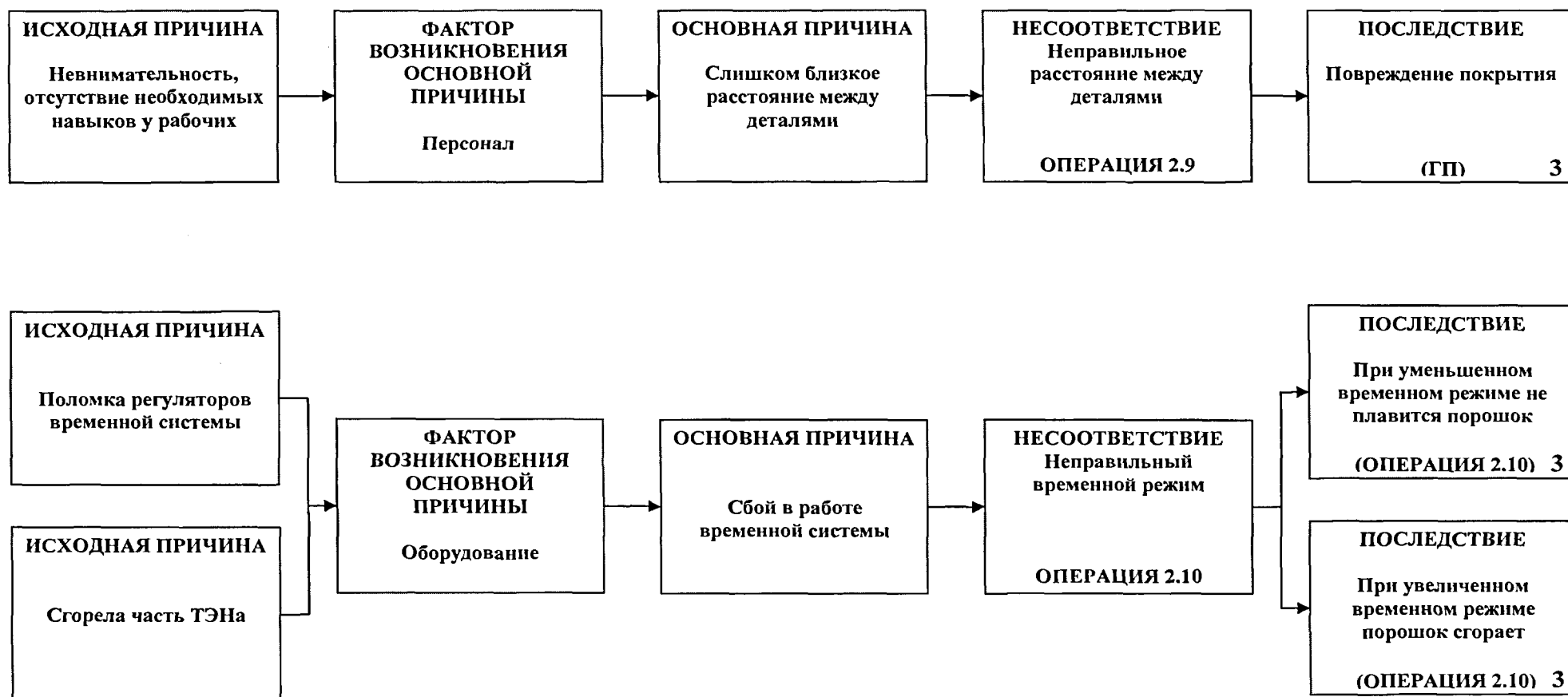


Рис. 4.7г. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения порошкового грунта

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ ДЕКОРАТИВНОГО ПОКРЫТИЯ

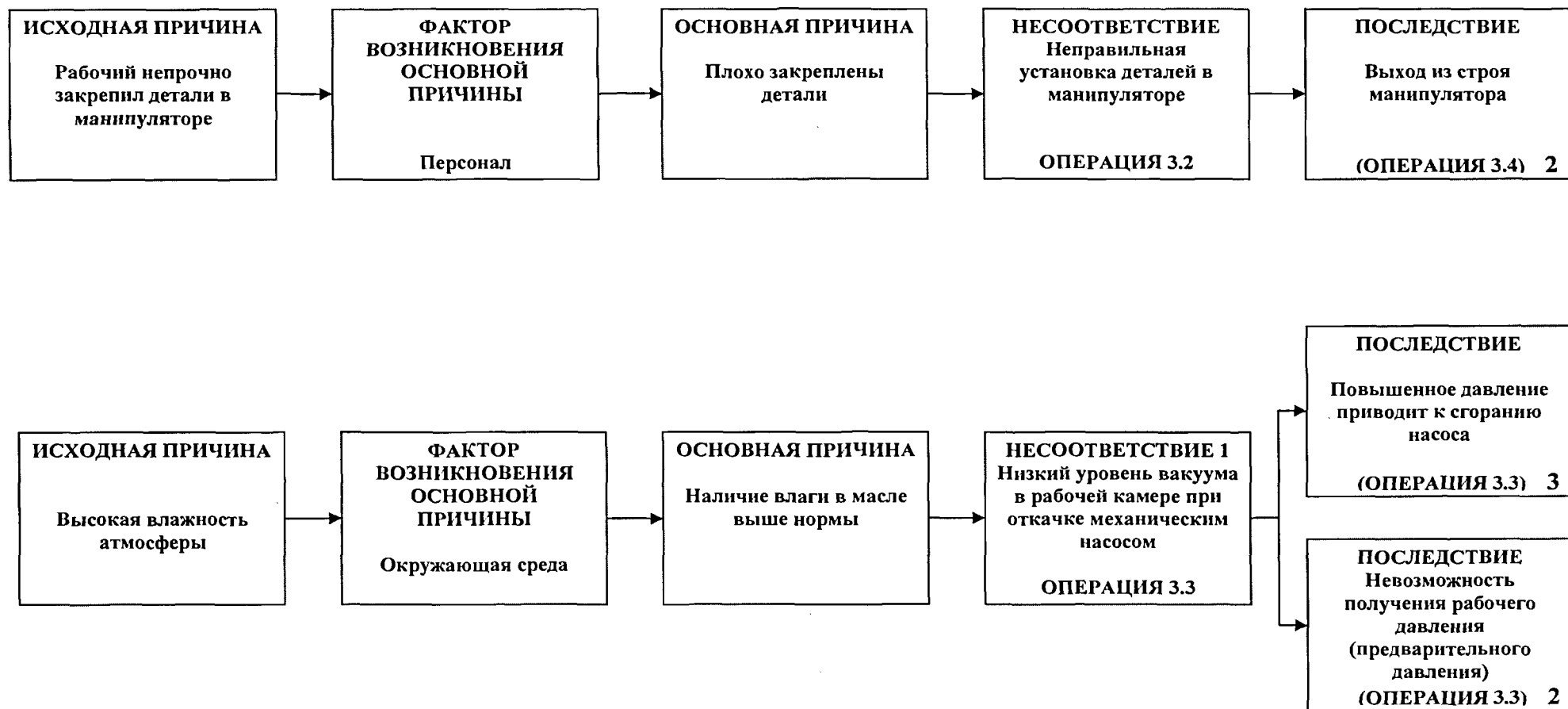


Рис. 4.8а. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения декоративного покрытия

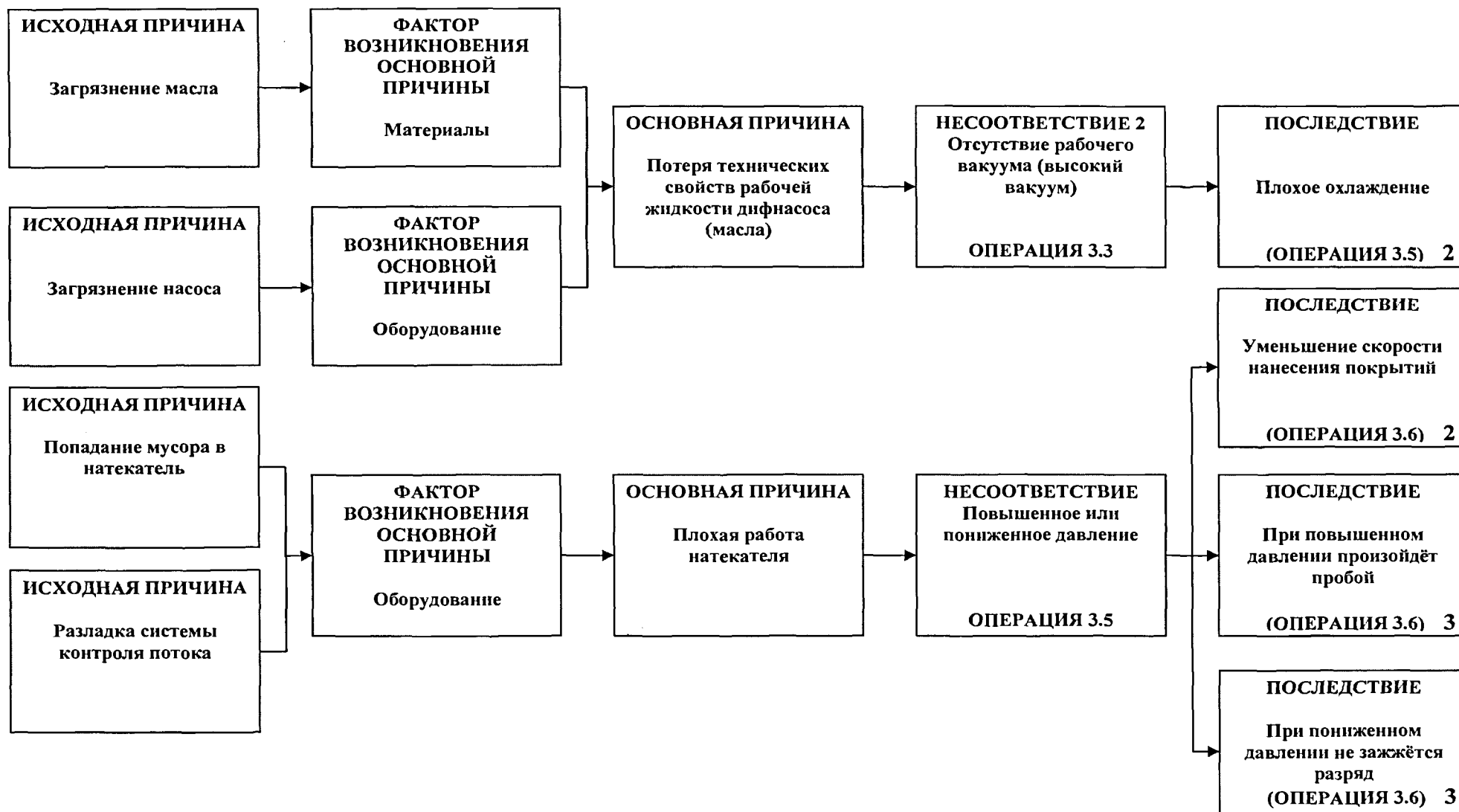


Рис. 4.86. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения декоративного покрытия

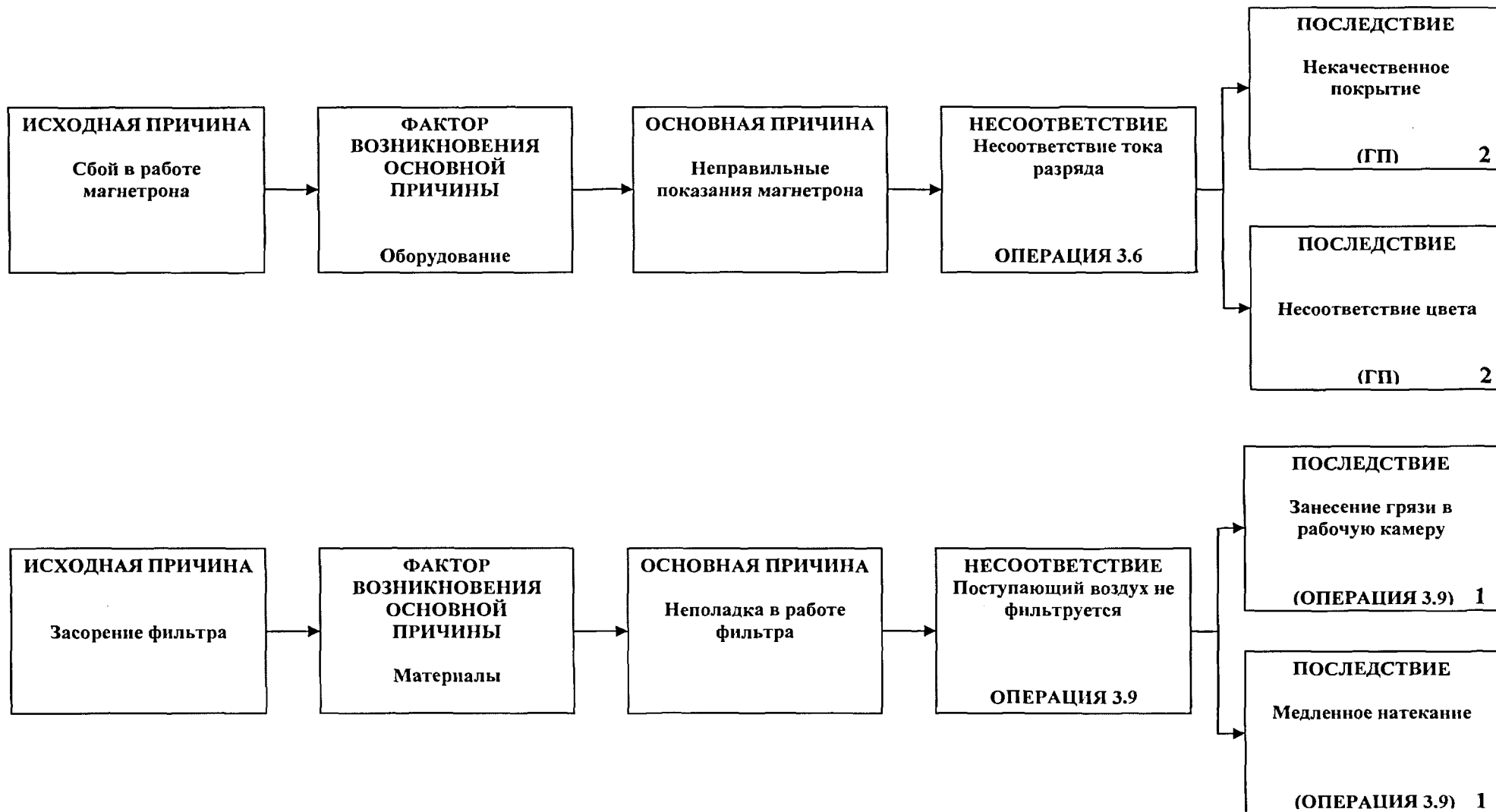


Рис. 4.8в. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения декоративного покрытия

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

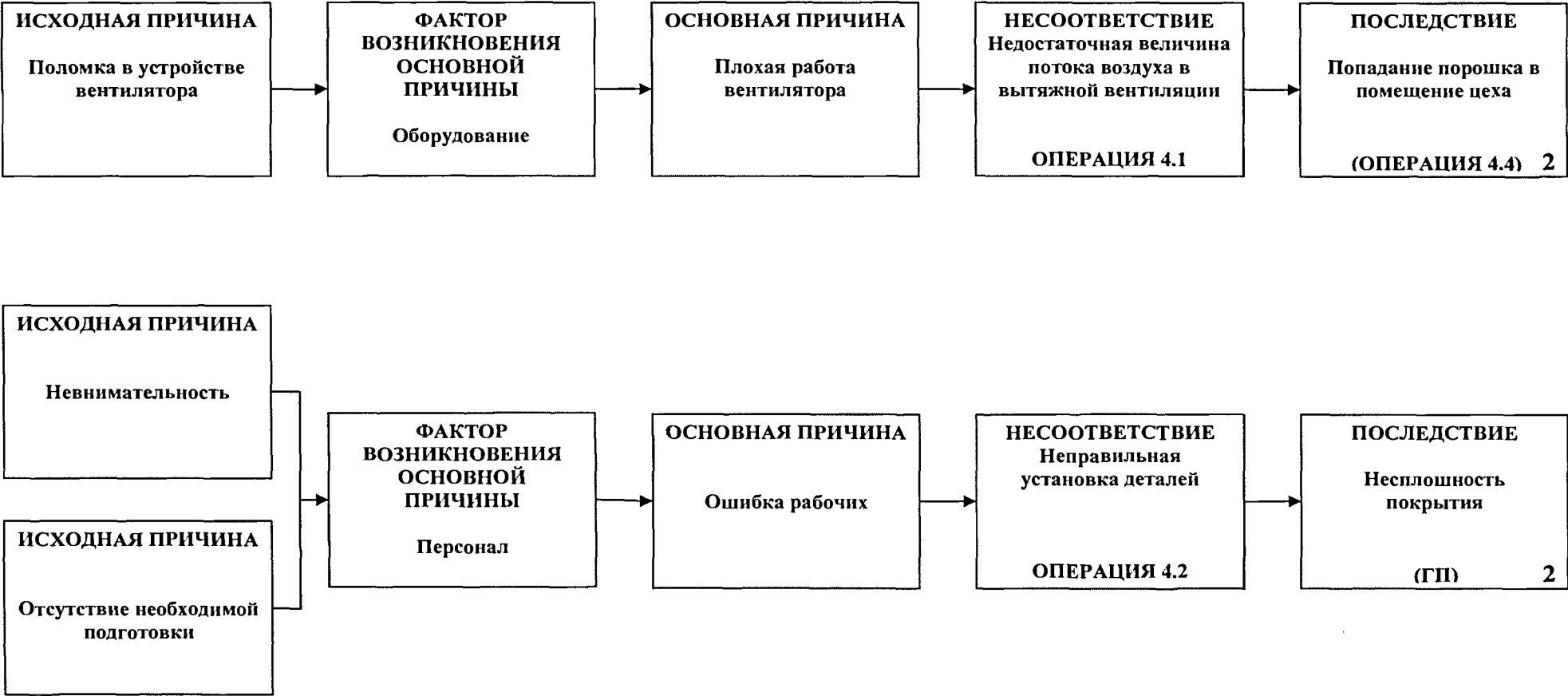


Рис. 4.9а. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения защитного покрытия



Рис. 4.96. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения защитного покрытия

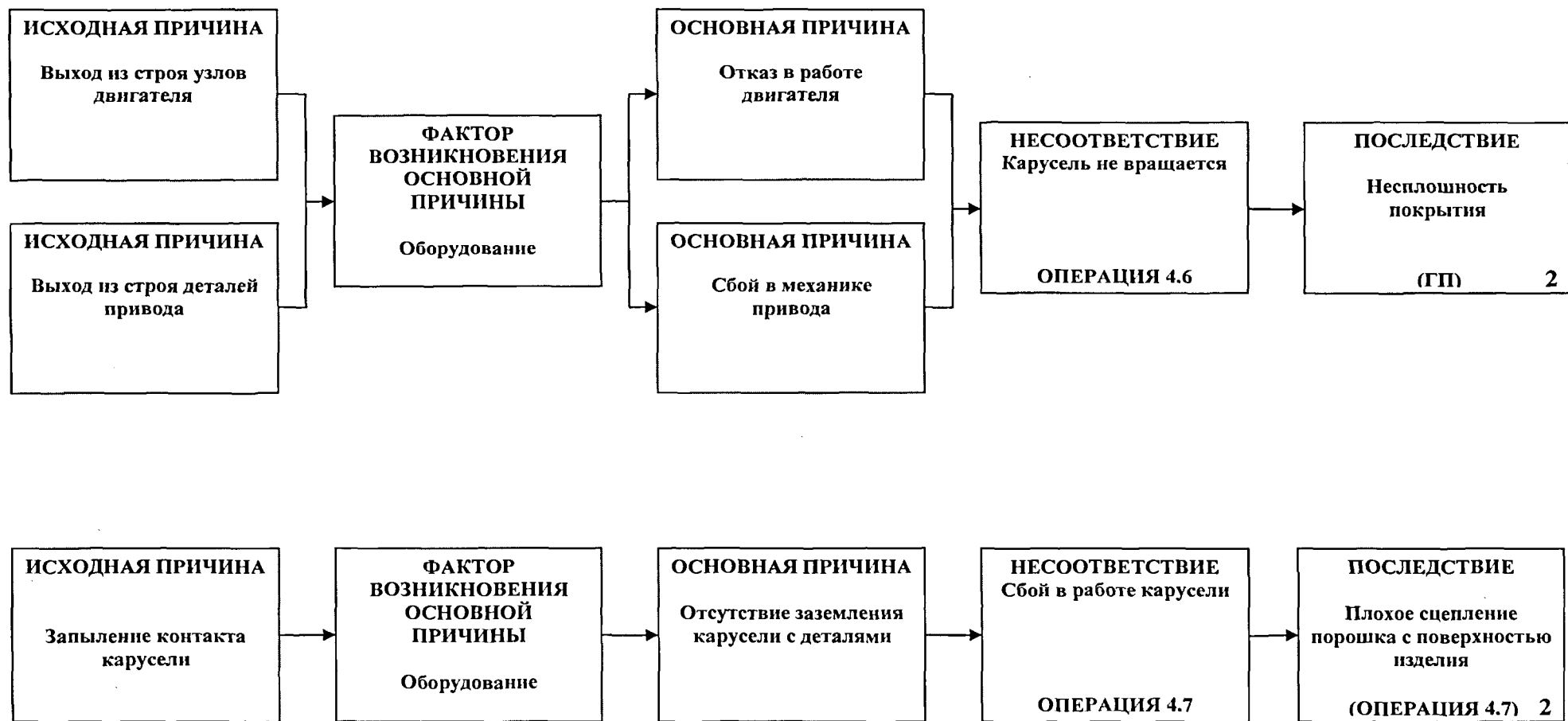


Рис. 4.9в. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения защитного покрытия

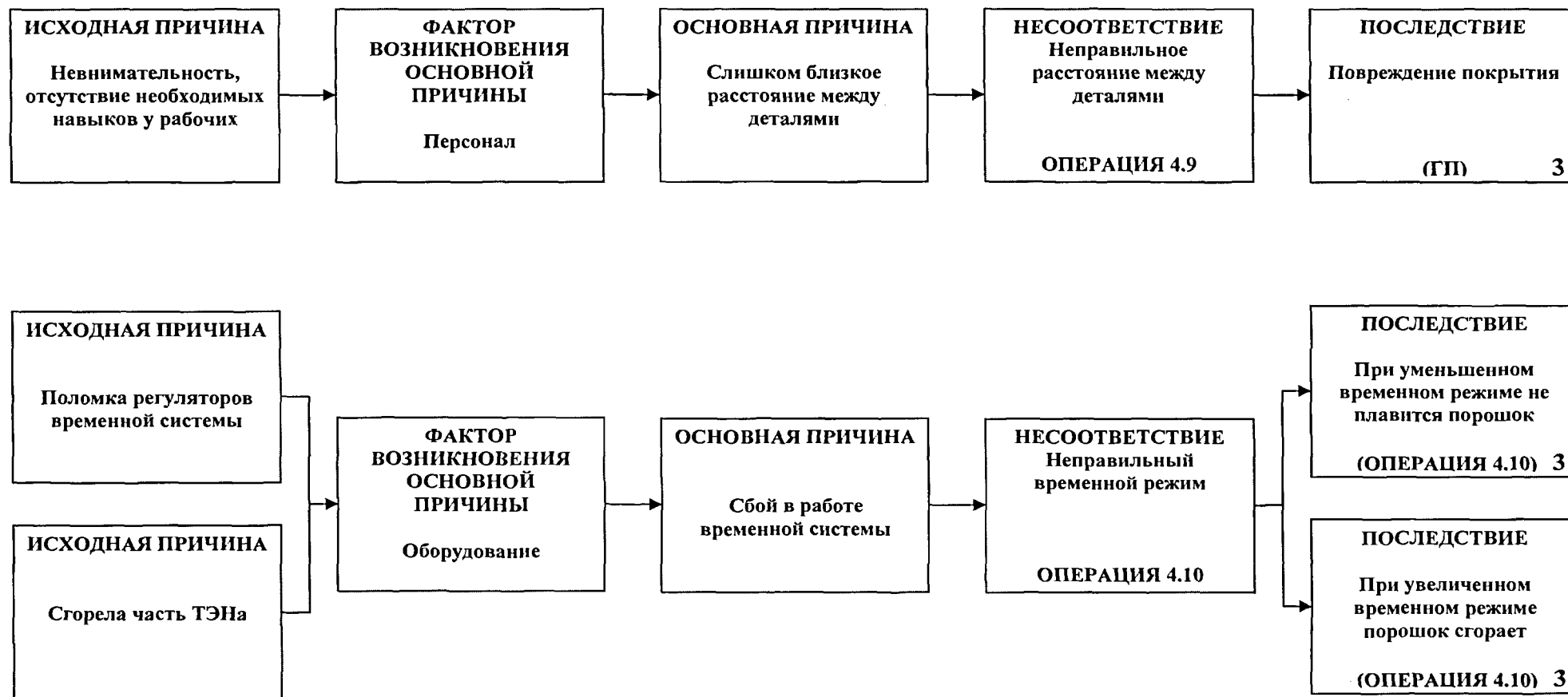


Рис. 4.9г. Анализ и определение причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях процесса нанесения защитного покрытия

последствий и мест их проявления (рис. 4.4). Проведена экспертная оценка степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий, в результате которой определены 3 опасных, 6 критичных и 2 некритичных последствия возникновения потенциальных несоответствий;

4) в операциях технологического процесса нанесения защитного покрытия: 8 потенциальных несоответствий в 8 технологических операциях, определены 11 возможных исходных причин их возникновения и 10 возможных последствий и мест их проявления (рис. 4.5). Проведена экспертная оценка степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий, в результате которой определены 4 опасных и 6 критичных последствий возникновения потенциальных несоответствий.

4.2.4. Анализ и оценка последствий возникновения потенциальных несоответствий в соответствии со степенью их критичности в технологических операциях комплексного технологического процесса нанесения защитно-декоративных покрытий

Проведём анализ и оценку выявленных последствий возникновения несоответствий по степени их критичности в технологических операциях, сгруппировав их по соответствующим технологическим процессам. Для этого построим таблицы 4.5-4.8.

Занесём в таблицы полученные данные о количестве последствий возникновения потенциальных несоответствий по степени их критичности в во всех технологических процессах и присвоенный им соответствующий коэффициент риска, суммарное количество последствий по каждому виду последствий в технологических процессах, суммарное количество последствий в каждой технологической операции и общее количество последствий в каждом технологическом процессе. Рассчитаем вес и долю риска от последствий возникновения потенциальных несоответствий во всех технологических процессах по формулам (2.6) и (2.7), соответственно.

На основе рассчитанных в таблицах данных построим гистограммы распределения последствий возникновения потенциальных несоответствий по степени их критичности во всех технологических процессах (рис. 4.10-4.13).

Для анализа и оценки последствий возникновения потенциальных несоответствий с учётом степени их критичности в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий, построена таблица 4.9, в которой собраны и рассчитаны данные по степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий в каждом технологическом процессе. На основе табл. 4.9 построена гистограмма, показывающая распределение последствий возникновения потенциальных несоответствий по степени их критичности во всех четырёх технологических процессах (рис. 4.14). Из данной гистограммы видно, что доля риска от опасных последствий возникновения потенциальных несоответствий имеет наибольшее значение в технологическом процессе нанесения TiN покрытий, далее идут, с равными долями, технологические процессы нанесения порошкового грунта и защитного покрытия. Наименьшее значение доли риска от опасных последствий возникновения потенциальных несоответствий имеет технологический процесс нанесения декоративного покрытия. Следовательно, первоначально необходимо устранить исходные причины возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения TiN покрытий, затем – в процессах нанесения порошкового грунта и защитного покрытия и, наконец, в процессе нанесения декоративного покрытия.

Таблица 4.5

Оценка степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий
в технологическом процессе нанесения TiN покрытий

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ TiN ПОКРЫТИЙ														
№	Операция	Последствия потенциальных несоответствий												Итого
		опасные				критичные				некритичные				
		кол- во	коэфф.	вес	доля	кол- во	коэфф.	вес	доля	кол- во	коэфф.	вес	доля	
1.1	Включение установки нанесения покрытий и подготовка её к работе	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
1.2	Установка детали в рабочей камере	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
1.3	Заккрытие крышки камеры и откачка воздуха из камеры	0	3	0	0,0	2	2	4	0,3	0	1	0	0,0	2
1.4	Напускание аргона в камеру	2	3	6	0,4	1	2	2	0,2	0	1	0	0,0	3
1.5	Нанесение подслоя Ti	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
1.6	Подача напряжения смещения на детали	0	3	0	0,0	1	2	2	0,2	0	1	0	0,0	1
1.7	Напускание азота в камеру	2	3	6	0,4	2	2	4	0,3	0	1	0	0,0	4
1.8	Нанесение TiN покрытия	1	3	3	0,2	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	1
1.9	Отключение питания электродов камеры	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
1.10	Отключение подачи рабочих газов	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
1.11	Напускание воздуха в камеру	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	2	1	2	1,0	2
1.12	Открытие крышки камеры и извлечение детали	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
Сумма:		5		15	1	6		12	1	2		2	1	13

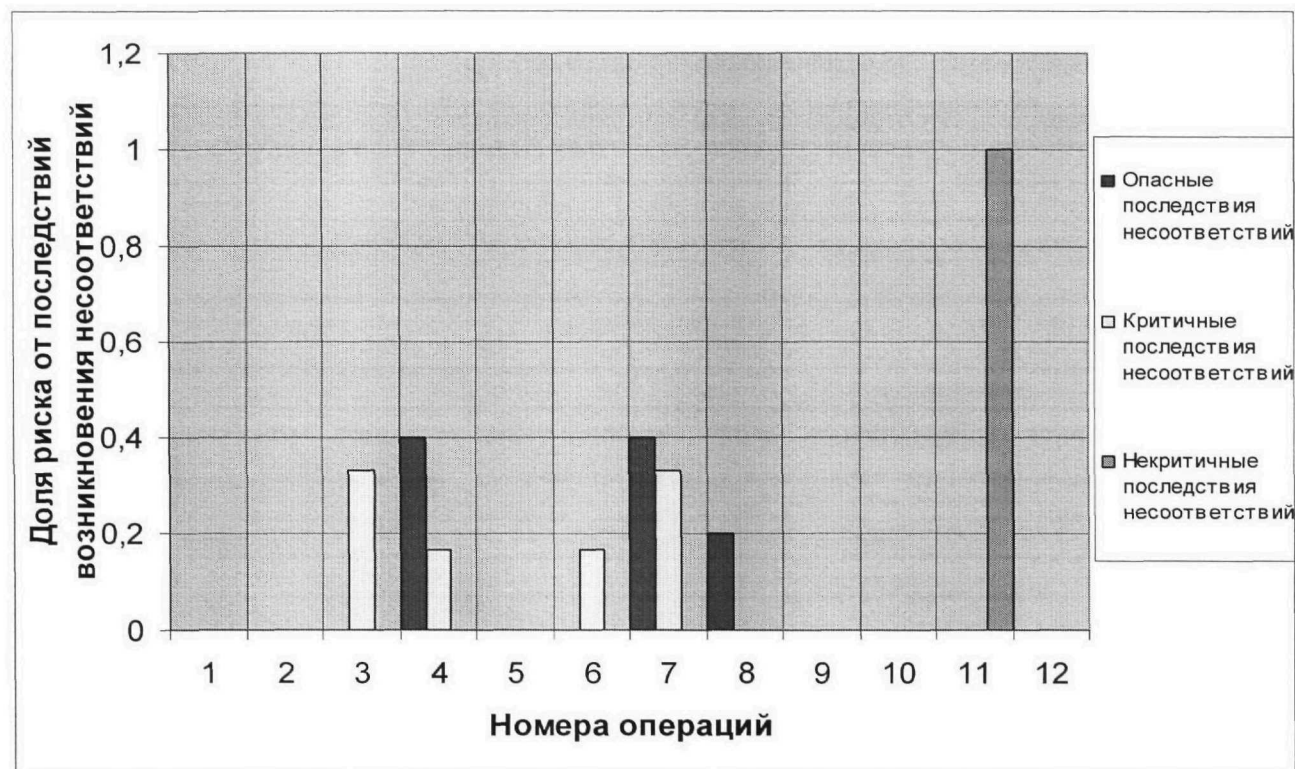


Рис. 4.10. Гистограмма распределения последствий возникновения потенциальных несоответствий по степени их критичности в операциях технологического процесса нанесения TiN покрытий

Таблица 4.6

**Оценка степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий
в технологическом процессе нанесения порошкового грунта**

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ ПОРОШКОВОГО ГРУНТА														
№	Операция	Последствия потенциальных несоответствий												Итого
		опасные				критичные				некритичные				
		кол- во	коэфф.	вес	доля	кол- во	коэфф.	вес	доля	кол- во	коэфф.	вес	доля	
2.1	Включить вентиляцию, камеру нанесения порошковых покрытий и термошкаф полимеризации и подготовить их к работе	0	3	0	0,0	1	2	2	0,2	0	1	0	-	1
2.2	Закрепить детали на технологической оснастке	0	3	0	0,0	1	2	2	0,2	0	1	0	-	1
2.3	Установить оснастку с деталями на карусель камеры нанесения покрытий	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	-	0
2.4	Заполнить бачок распылителя порошком (грунт) с помощью мерного стакана	1	3	3	0,3	1	2	2	0,2	0	1	0	-	2
2.5	Включить высоковольтный блок питания распылителя	0	3	0	0,0	1	2	2	0,2	0	1	0	-	1
2.6	Включить карусель камеры нанесения покрытий	0	3	0	0,0	1	2	2	0,2	0	1	0	-	1
2.7	Нанести покрытие порошкового грунта	0	3	0	0,0	1	2	2	0,2	0	1	0	-	1
2.8	Снять оснастку с деталями с карусели камеры нанесения покрытий и установить ее на транспортную тележку	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	-	0
2.9	Подвести транспортную тележку с деталями к термошкафу и установить оснастку с деталями в шкаф	1	3	3	0,3	0	2	0	0,0	0	1	0	-	1
2.10	Провести полимеризацию	2	3	6	0,5	0	2	0	0,0	0	1	0	-	2
2.11	Открыть шкаф и достать детали	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	-	0
Сумма:		4		12	1	6		12	1	0		0	-	10

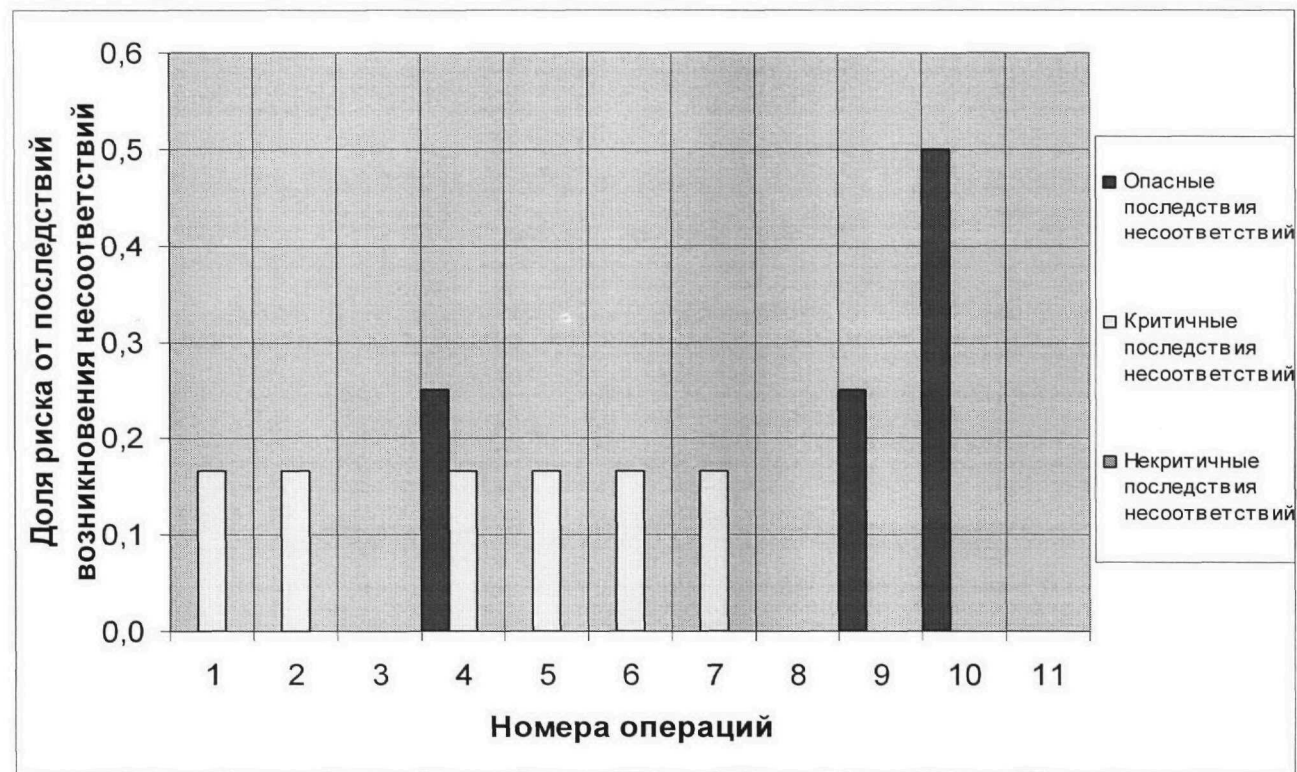


Рис. 4.11. Гистограмма распределения последствий возникновения потенциальных несоответствий по степени их критичности в операциях технологического процесса нанесения порошкового грунта

Оценка степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий
в технологическом процессе нанесения декоративного покрытия

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ ДЕКОРАТИВНОГО ПОКРЫТИЯ														
№	Операция	Последствия потенциальных несоответствий												Итого
		опасные				критичные				некритичные				
		кол- во	коэфф.	вес	доля	кол- во	коэфф.	вес	доля	кол- во	коэфф.	вес	доля	
3.1	Включить установку нанесения покрытий магнетронным распылением и подготовить к работе	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
3.2	Установить детали в рабочей камере	0	3	0	0,0	1	2	2	0,2	0	1	0	0,0	1
3.3	Закрыть дверь камеры и произвести откачку воздуха из камеры	1	3	3	0,3	2	2	4	0,3	0	1	0	0,0	3
3.4	Включить манипулятор	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
3.5	Напустить аргон в камеру	2	3	6	0,7	1	2	2	0,2	0	1	0	0,0	3
3.6	Включить магнетрон и нанести декоративное покрытие (латунь)	0	3	0	0,0	2	2	4	0,3	0	1	0	0,0	2
3.7	Выключить магнетрон и манипулятор	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
3.8	Отключить подачу аргона	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
3.9	Напустить воздух в камеру	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	2	1	2	1,0	2
3.10	Открыть дверь камеры и достать детали	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	0,0	0
Сумма:		3		9	1	6		12	1	2		2	1	11

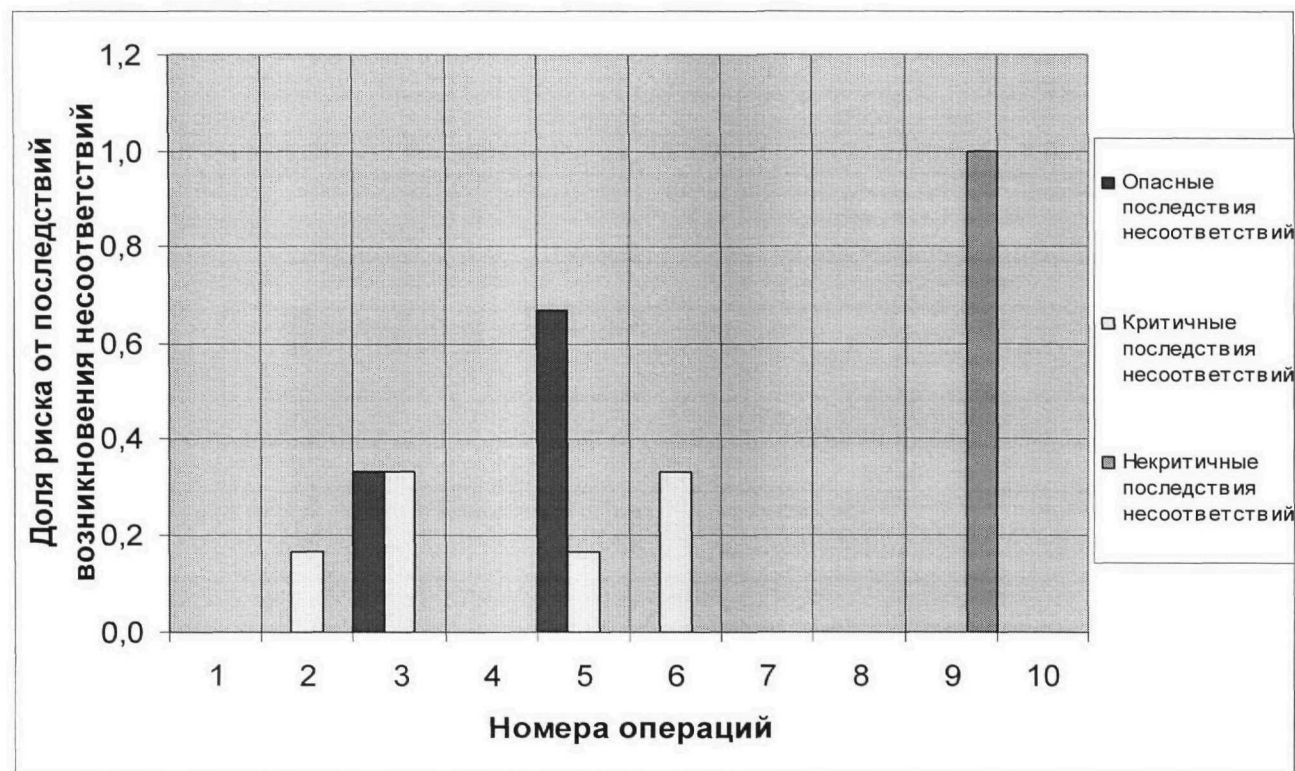


Рис. 4.12. Гистограмма распределения последствий возникновения потенциальных несоответствий по степени их критичности в операциях технологического процесса нанесения декоративного покрытия

Таблица 4.8

Оценка степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий
в технологическом процессе нанесения защитного покрытия

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ														
№	Операция	Последствия потенциальных несоответствий												
		опасные				критичные				некритичные				Итого
		кол- во	коэфф.	вес	доля	кол- во	коэфф.	вес	доля	кол- во	коэфф.	вес	доля	
4.1	Включить вентиляцию, камеру нанесения порошковых покрытий и термошкаф полимеризации и подготовить их к работе	0	3	0	0,0	1	2	2	0,2	0	1	0	-	1
4.2	Закрепить детали на технологической оснастке	0	3	0	0,0	1	2	2	0,2	0	1	0	-	1
4.3	Установить оснастку с деталями на карусель камеры нанесения покрытий	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	-	0
4.4	Заполнить бачок распылителя порошком (лак) с помощью мерного стакана	1	3	3	0,3	1	2	2	0,2	0	1	0	-	2
4.5	Включить высоковольтный блок питания распылителя	0	3	0	0,0	1	2	2	0,2	0	1	0	-	1
4.6	Включить карусель камеры нанесения покрытий	0	3	0	0,0	1	2	2	0,2	0	1	0	-	1
4.7	Нанести покрытие порошкового лака	0	3	0	0,0	1	2	2	0,2	0	1	0	-	1
4.8	Снять оснастку с деталями с карусели камеры нанесения покрытий и установить ее на транспортную тележку	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	-	0
4.9	Подвести транспортную тележку с деталями к термошкафу и установить оснастку с деталями в шкаф	1	3	3	0,3	0	2	0	0,0	0	1	0	-	1
4.10	Провести полимеризацию лака	2	3	6	0,5	0	2	0	0,0	0	1	0	-	2
4.11	Открыть шкаф и достать детали	0	3	0	0,0	0	2	0	0,0	0	1	0	-	0
Сумма:		4		12	1	6		12	1	0		0	-	10

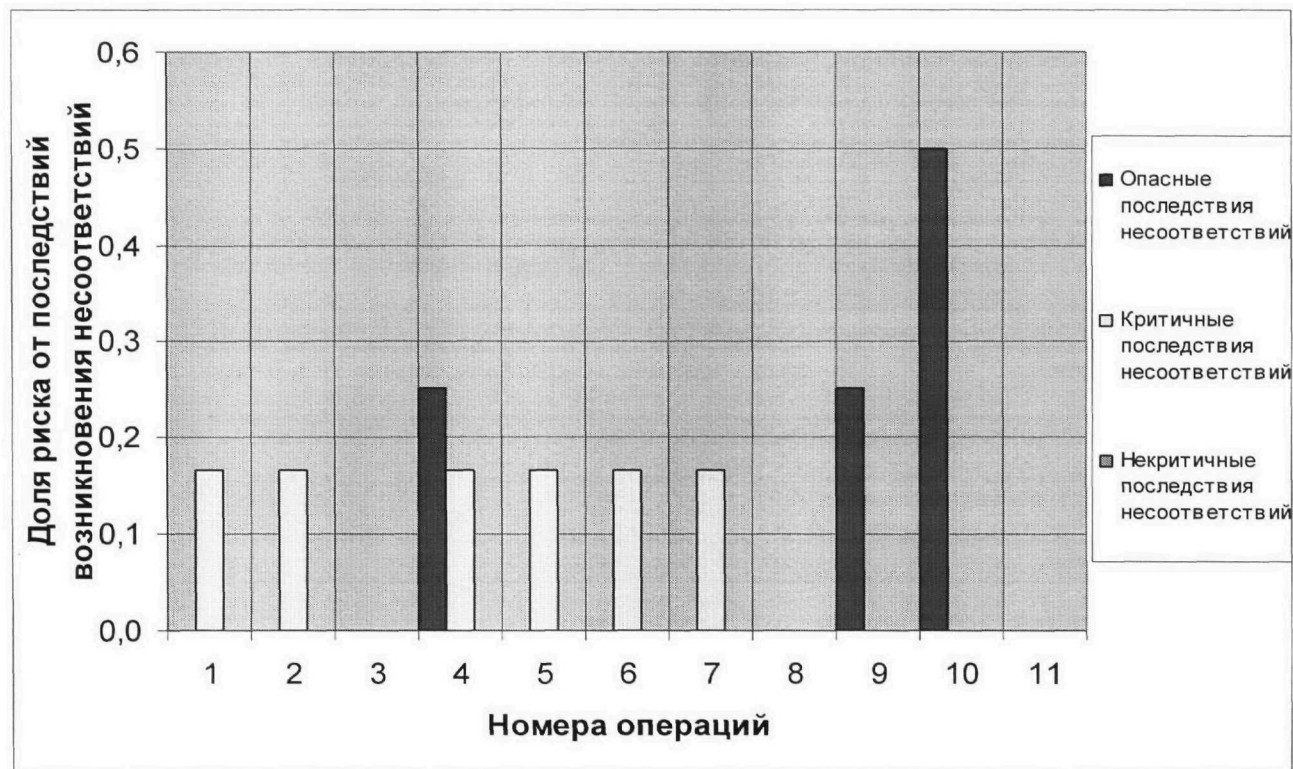


Рис. 4.13. Гистограмма распределения последствий возникновения потенциальных несоответствий по степени их критичности в операциях технологического процесса нанесения защитного покрытия

Таблица 4.9

Оценка степени критичности последствий возникновения потенциальных несоответствий
в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий

КОМПЛЕКСНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ														
№	Технологический процесс	Последствия потенциальных несоответствий												
		опасные				критичные				некритичные				Итого
		кол-во	коэфф.	вес	доля	кол-во	коэфф.	вес	доля	кол-во	коэфф.	вес	доля	
1	Технологический процесс нанесения защитного покрытия	5	3	15	0,3	6	2	12	0,25	2	1	2	0,5	13
2	Технологический процесс нанесения порошкового грунта	4	3	12	0,25	6	2	12	0,25	0	1	0	0	10
3	Технологический процесс нанесения декоративного покрытия	3	3	9	0,2	6	2	12	0,25	2	1	2	0,5	11
4	Технологический процесс нанесения защитного покрытия	4	3	12	0,25	6	2	12	0,25	0	1	0	0	10
Сумма:		16		48	1	24		48	1	4		4	1	44

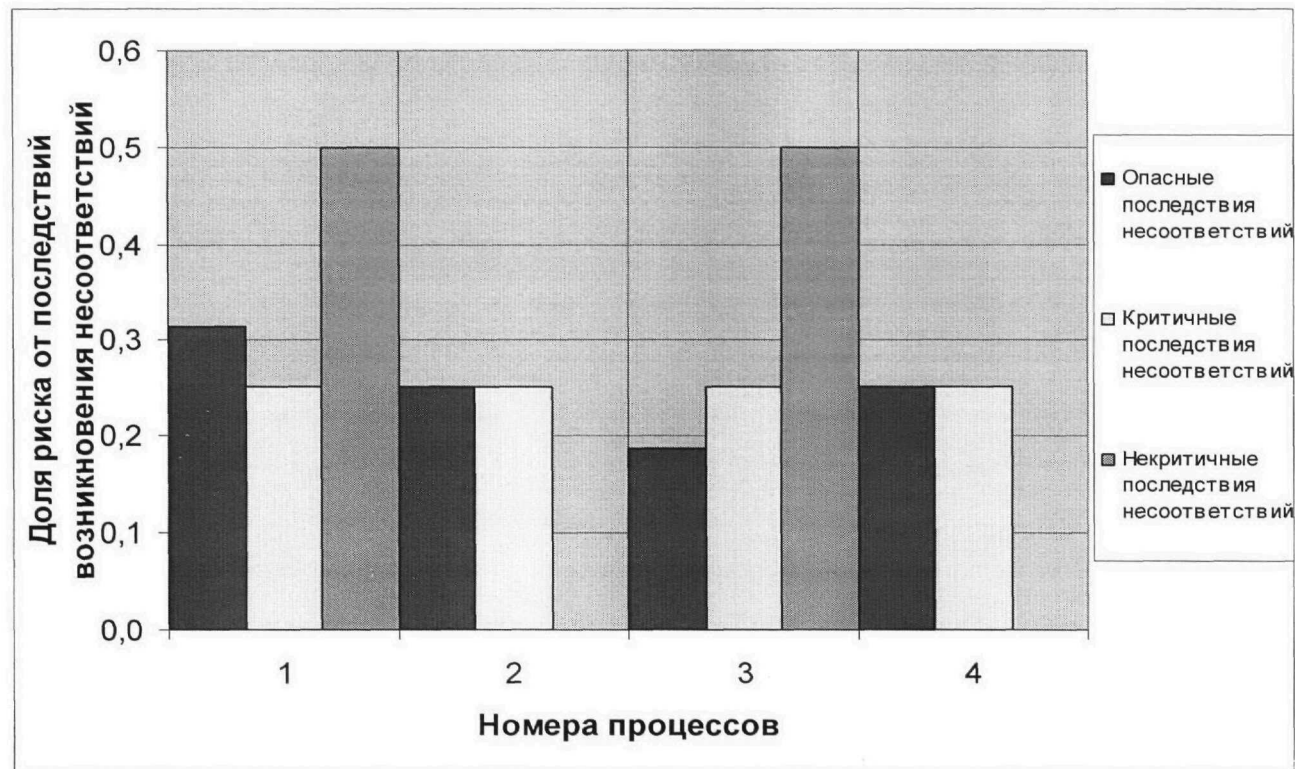


Рис. 4.14. Гистограмма распределения последствий возникновения потенциальных несоответствий по степени их критичности в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий

Доля риска от критичных последствий возникновения потенциальных несоответствий имеет одинаковое значение во всех четырёх технологических процессах, поэтому проводим анализ некритичных последствий возникновения потенциальных несоответствий. В технологических процессах нанесения порошкового грунта и защитного покрытия некритичных последствий возникновения потенциальных несоответствий нет, а в технологических процессах нанесения TiN и декоративного покрытия они имеют равную долю риска. В этом случае, решающим фактором выступает доля риска от опасных последствий возникновения потенциальных несоответствий, которая имеет большее значение в технологическом процессе нанесения TiN покрытий. Поэтому очередность устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий будет следующая: технологический процесс нанесения TiN покрытий, технологические процессы нанесения порошкового грунта и защитного покрытия, технологический процесс нанесения декоративного покрытия.

В соответствии с определённой очередностью разработаем комплекс предупреждающих мероприятий по устранению исходных причин потенциальных несоответствий в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий.

4.2.5. Разработка комплекса предупреждающих мероприятий по устранению исходных причин потенциальных несоответствий в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий

Для разработки комплекса предупреждающих мероприятий по устранению исходных причин потенциальных несоответствий в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий используем диаграмму процесса принятия решений (PDPC). С помощью данной диаграммы разработаем предупреждающие действия для устранения исходных причин возникновения несоответствий, определённых в п. 4.2.3, с учётом

очерёдности устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий, определённой в п. 4.2.4 (рис. 4.15-4.18).

Разработанные предупреждающие мероприятия позволили своевременно устранить исходные причины потенциальных несоответствий и, тем самым, предупредить возникновение потенциальных несоответствий в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий.

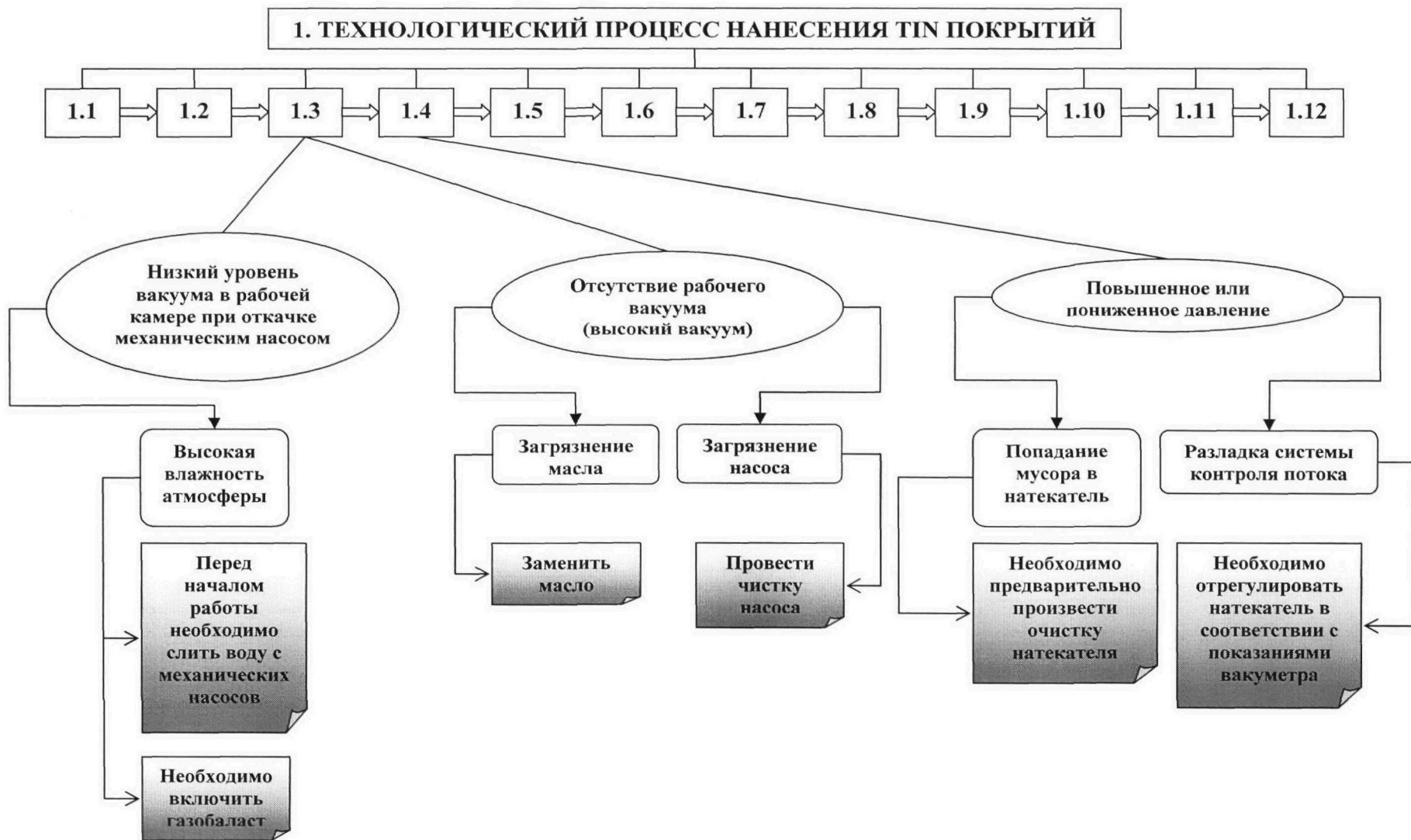


Рис. 4.15а. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения TiN покрытий

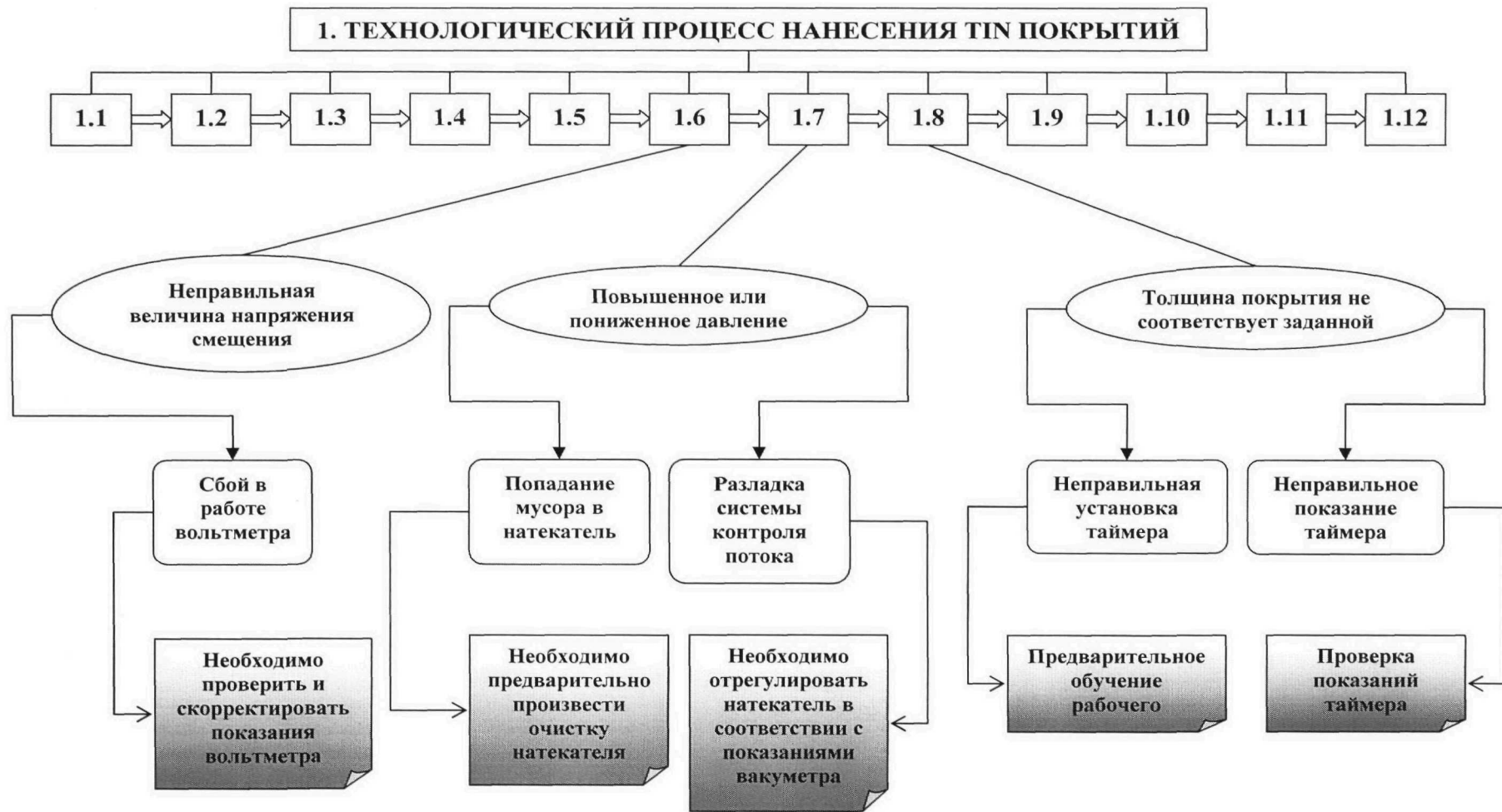


Рис. 4.156. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения TiN покрытий



Рис. 4.15в. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения TiN покрытий



Рис. 4.16а. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения порошкового грунта

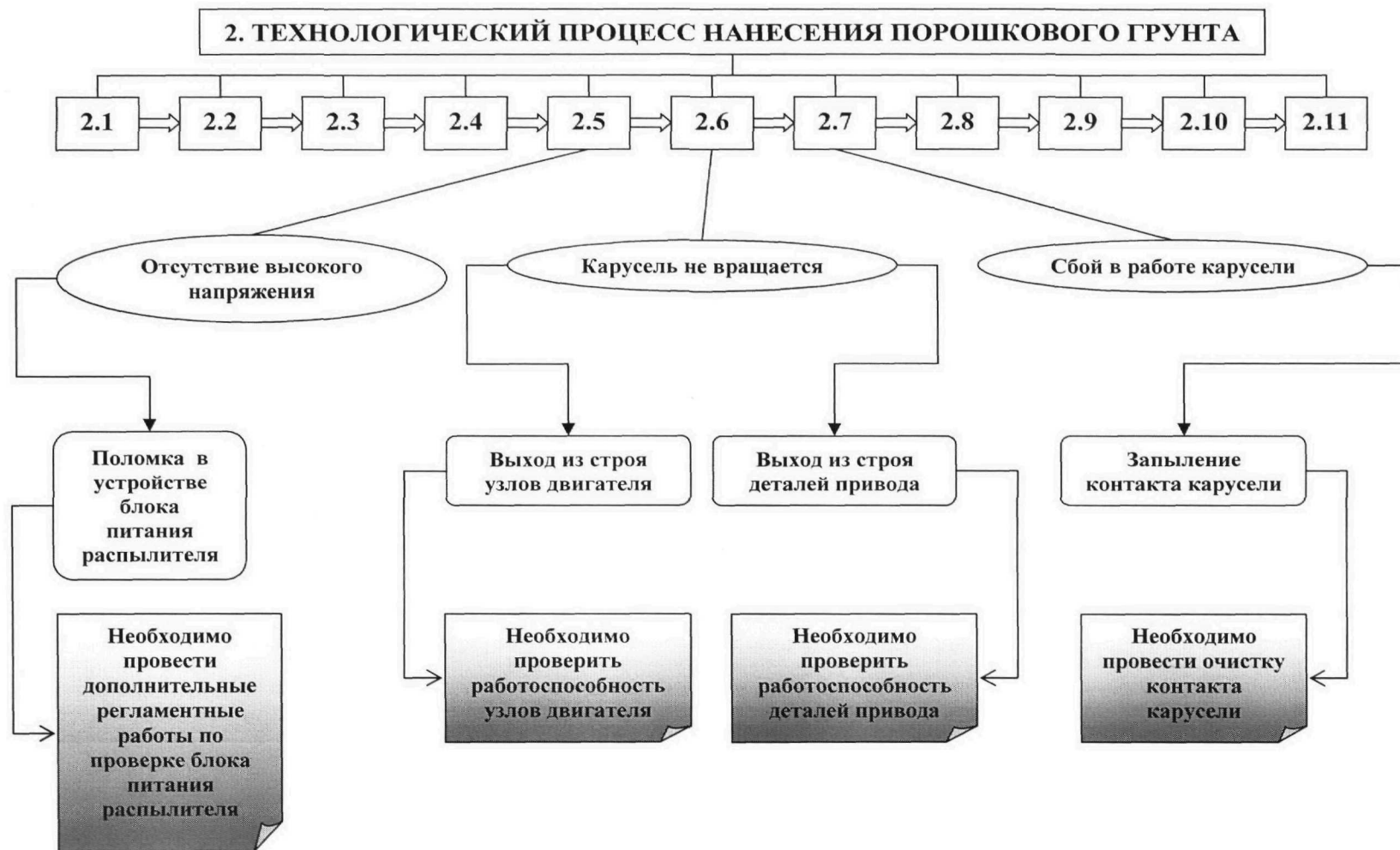


Рис. 4.166. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения порошкового грунта

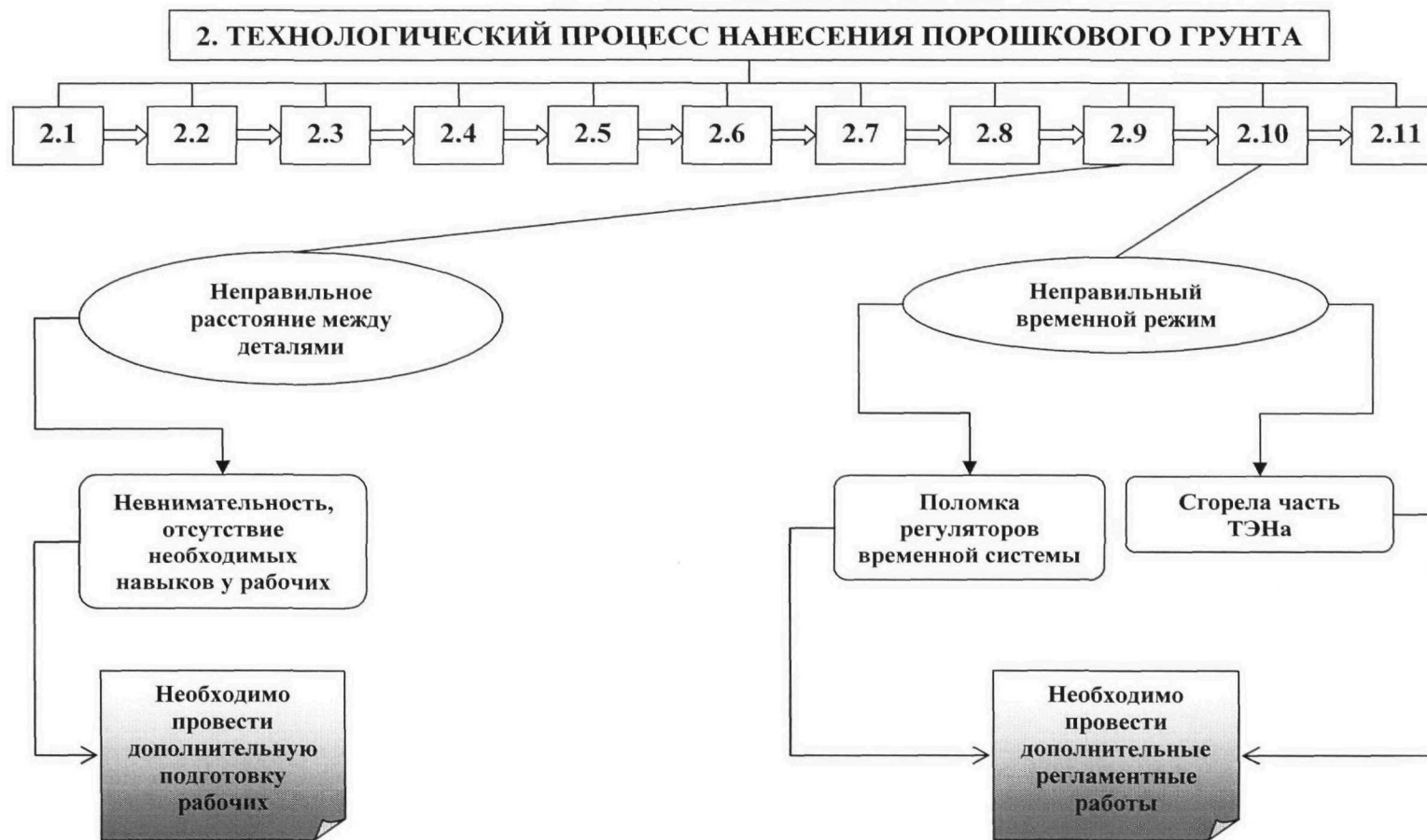


Рис. 4.16в. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения порошкового грунта



Рис. 4.17а. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения защитного покрытия

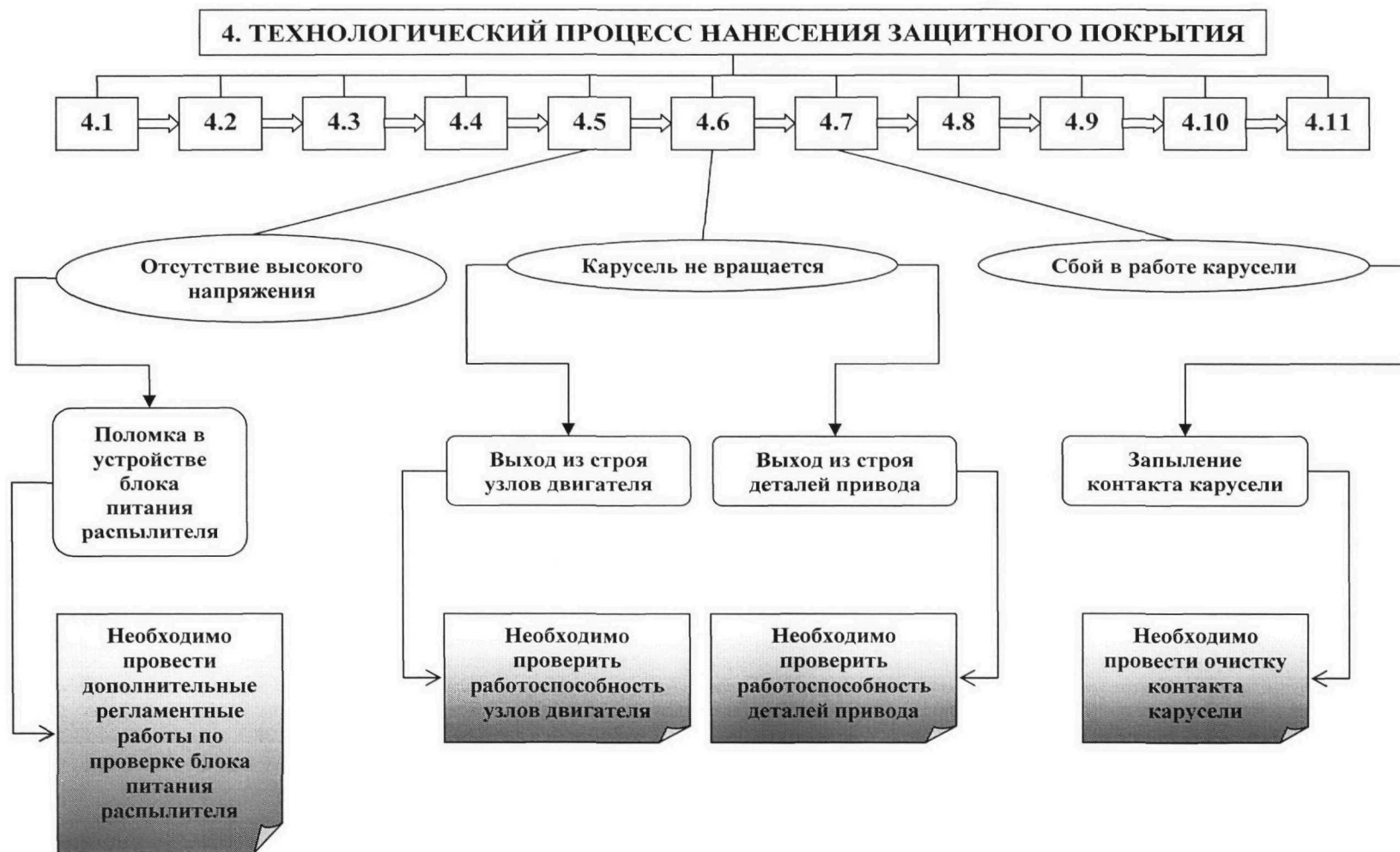


Рис. 4.176. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения защитного покрытия



Рис. 4.17в. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения защитного покрытия

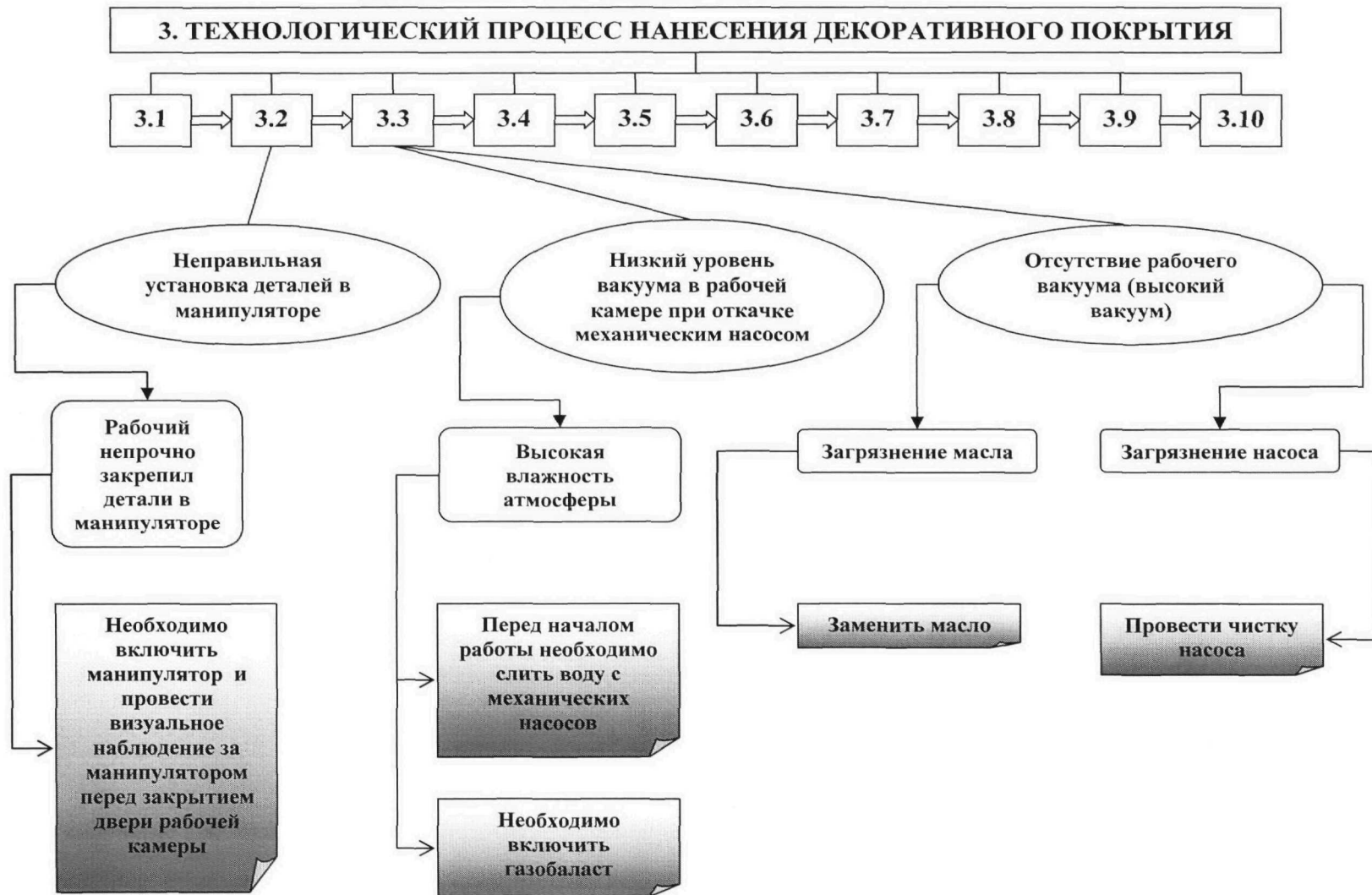


Рис. 4.18а. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения защитного покрытия

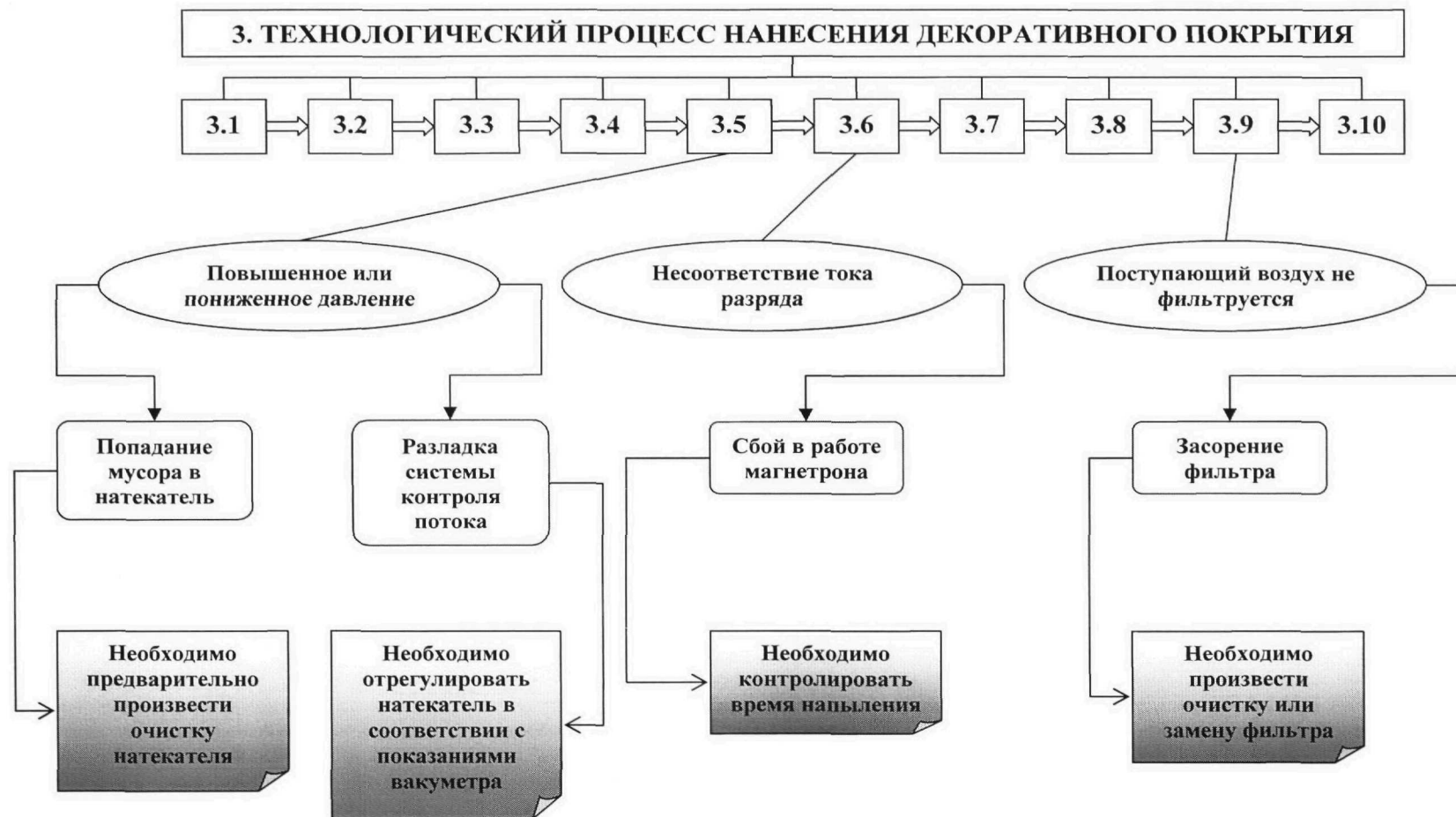


Рис. 4.186. Разработка предупреждающих действий для устранения исходных причин возникновения потенциальных несоответствий в технологическом процессе нанесения защитного покрытия

4.3. Выводы по главе 4

1. Разработанная методика реализована в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий на металлические изделия сложной формы ООО НТЦ «СИЛАТЭ»;
2. Проведён анализ компонентов и декомпозиция комплексного технологического процесса нанесения защитно-декоративных покрытий;
3. Проведён анализ технологических операций комплексного технологического процесса нанесения защитно-декоративных покрытий и построены блок-схемы их взаимодействия на основе разработанной модели технологической операции с блоком анализа потенциальных несоответствий;
4. Проведён анализ и определены потенциальные несоответствия, причины и последствия их возникновения в технологических операциях комплексного технологического процесса нанесения защитно-декоративных покрытий, с помощью разработанной модели анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологических операциях;
5. Проведены анализ и оценка последствий возникновения потенциальных несоответствий в соответствии со степенью их критичности в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий;
6. Разработаны предупреждающие действия по устранению исходных причин потенциальных несоответствий в комплексном технологическом процессе нанесения защитно-декоративных покрытий.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана методика анализа и предупреждения потенциальных несоответствий в технологическом процессе, позволяющая повысить качество технологического процесса за счёт своевременного определения и оперативного устранения причин потенциальных несоответствий;
2. На основе проведённого анализа принципов и методов менеджмента качества определена роль предупреждающих мероприятий как наиболее эффективного инструмента по своевременному предотвращению возникновения несоответствий в процессах и сформирован алгоритм разрабатываемой методики, базирующейся на методике проведения FMEA-анализа;
3. Проведены анализ компонентов и декомпозиция технологического процесса, позволившие определить технологические операции как объект анализа и управления в диссертационной работе;
4. Разработана модель взаимодействия технологических операций с блоком анализа потенциальных несоответствий, основанная на процессном подходе и методе «6М» и позволяющая определять факторы возникновения причин несоответствий и их влияние на последующие технологические операции и на готовую продукцию;
5. Разработана модель анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий в технологической операции, представляющая собой интеграцию инструментов контроля и управления качеством и позволяющая определять исходные причины и оценивать степень критичности последствий потенциальных несоответствий;
6. Разработан комплекс предупреждающих мероприятий на основе PDPC, позволивших своевременно устранить выявленные исходные причины потенциальных несоответствий в технологическом процессе и предотвратить возникновение несоответствий в будущем;

7. Проведена экспериментальная проверка адекватности разработанной методики на примере технологического процесса нанесения TiN покрытий, подтвердившая её работоспособность и эффективность;
8. Разработанная методика реализована в комплексном технологическом процессе нанесения многослойных защитно-декоративных покрытий на металлические изделия сложной формы ООО НТЦ «СИЛАТЭ». В результате применения методики были своевременно определены и оперативно устранены причины потенциальных несоответствий, что позволило добиться повышения качества технологического процесса и готовой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон Российской Федерации от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».
2. Розова Н.К. Управление качеством. – СПб.: Питер, 2003. – 224 с.: ил. – (Серия «Краткий курс»).
3. Международный стандарт ISO 8402. Менеджмент качества и обеспечение качества: Словарь/Пер. с англ. 2-е изд., 1994.
4. ГОСТ Р ИСО 9000-2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. ИПК Издательство стандартов, 2001.
5. Всеобщее управление качеством: Учебник для вузов/О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин; под ред. О.П. Глудкина. – М.: Радио и связь, 1999. – 600 с.: ил.
6. Управление качеством и сертификация: Учеб. Пособие/В.А. Васильев, Ш.Н. Каландаришвили, В.А. Новиков, С.А. Одинокое; под ред. В.А. Васильева. – М.: Интернет Инжиниринг, 2002. – 416 с.: ил.
7. Управление качеством: Учеб. Пособие/М.Г. Круглов, Г.М. Шишков – М.: МГТУ «СТАНКИН», 1999. – 234 с.
8. Борзов В.И. С помощью методов TQM – к высшему качеству продукции. XXIX Гагаринские чтения. Тезисы докладов Международной молодёжной научной конференции. Москва, 8-11 апреля 2003 г. – М.: «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2003. – с. 7.
9. Управление качеством: Учебник для вузов. / Под ред. В.Н. Азарова. Том 1. Основы обеспечения качества. – М.: МГИЭМ, 1999. 326 с.
10. Управление качеством: Учебник для вузов. / Под ред. В.Н. Азарова. Том 2. Принципы и методы всеобщего руководства качеством. – М.: МГИЭМ, 2000. 356 с.
11. Лapidус В.А. Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях. – М.: Типография новости, 2000. – 432 с.

12. Качалов В.А. Сертификация систем менеджмента качества как основа для перехода к TQM // Стандарты и качество, 1997. № 8, с. 46-53.
13. TQM XXI. Проблемы, опыт, перспективы. Выпуск 1. Академия проблем качества России. М.: АО «ТКБ Интерсертифика», 1997.
14. Аронов И.З., Мирющенко Е.Е., Мирющенко К.Е. Управление проектами и всеобщее управление качеством // Стандарты и качество, 1996.
15. Калита П.Я. Система всеобщего управления качеством. / П.Я. Калита, Т.И. Сарнавская – К.: МЦ «Прирост», 1997. – 38 с.
16. Басовский Л.Е., Протасьев В.Б. Управление качеством: Учебник. – М.: ИНФА – М, 2001. 212 с.
17. Гиссин В.И. Управление качеством продукции: Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. 356 с.
18. Гличев А.В. Основы управления качеством продукции. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2001. 424 с.
19. Мазур И.И., Шапиро В.Д. Управление качеством: Учебн. Пособие / Под ред. И.И. Мазура. – М.: Высш.шк., 2003. 334 с.
20. Никитин В.А., Филончева В.В. Управление качеством на базе стандартов ИСО 9000:2000. – СПб.: Питер, 2004. 127 с.
21. Стандартизация и управление качеством продукции: Учебник для вузов / В.А. Швандар, В.П. Панов, Е.М. Купряков и др. / Под ред. В.А. Швандара. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2000. 256 с.
22. Ильенкова С.Д., Ильенкова Н.Д., Мхитарян В.С. и др. Управление качеством: Учебник для вузов/Под ред. С.Д. Ильенковой. М.: ЮНИТИ, 2000. 199. с.
23. Окрепилов В.В. Управление качеством: Учебник. М.: Экономика, 1998.
24. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 711. с.
25. Васильев В.А., Каландаришвили Ш.Н., Чайка И.И. Системный подход к качеству. М.: Изд-во «ЛАТМЭС», 2001. – 84 с.
26. Никифоров А.Д. Управление качеством. – М.: Дрофа, 2004.

27. Новиков В.А., Барабанова О.А., Калинин А.А., Васильев В.А., Пашков И.Н. Технология управления качеством / Учебное пособие. М.: Изд-во «МАТИ»-РГТУ, 2000. 80 с.
28. Управление качеством. Учебное пособие. / Кричевский М.Л. и Минько Э.В. СПб ГУАП: СПб., 1999. 120 с.
29. Управление качеством. Учебное пособие. / Салимова Т.А. Саранск: Типография «Красный октябрь», 2000. 84 с.
30. Управление качеством. Учебное пособие. / Сакацкий В.С. Красноярск: КГТУ, 2000. 200 с.
31. Управление качеством. Учебное пособие для вузов. / Мишин В.М. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. 303 с.
32. Квалиметрия. Управление качеством. Сертификация. Курс лекций. / Фомин В.Н. М.: Ассоциация авторов и издателей «ТАНДЕМ». Издательство «ЭКМОС», 2000. 320 с.
33. Воронин Г.П. Качество - одна из главных составляющих развития экономики // Стандарты и качество, 2000. № 2.
34. Юдин В.Е. Как обеспечить конкурентную способность продукции (о роли качества и безопасности) // Стандарты и качество, 2000. № 2.
35. Калита П. От процессов управления качеством – к целостной технологии непрерывного совершенствования организации. // Стандарты и качество. – 2001. - №1.
36. Варакута С.А. Управление качеством продукции: Учебное пособие. – М.:ИНФРА-М. 2002. – 207 с. – (Серия «Вопрос - ответ»).
37. Антология русского качества: 3-е изд., испр. и доп. / Сост. Б.В. Бойцов, Ю.В. Крянев, М.А. Кузнецов. Под ред. Б.В. Бойцова, Ю.В. Крянева. – М.: редакционно-информационное агентство «Стандарты и качество», 2000. – 432 с.
38. Адлер Ю.П. Методы Тагути - современные методы разработки продукции высокого качества // Вестник машиностроения, 1994, № 8, с. 35-39.
39. Амиров Ю.Д., Печенкин А.Н. Оценка качества продукции и рыночная экономика // Стандарты и качество, 1992, № 6; № 7; № 9; № 10.

40. Чайка И.И.//Методы менеджмента качества. – 2000. – №1 . – С.4-8.
41. Лapidус В.А. Серов М.Е. Введение в менеджмент качества. – Н. Новгород: Приоритет, 1999 .- 91 с.
42. Все о качестве. Зарубежный опыт. - М.: Изд-во стандартов, 1999. Вып. 1-15.
43. Все о качестве. Зарубежный опыт. - М.: Изд-во стандартов, 1999. Вып. 16-20, 2000.
44. Воронин Г.П. Качество - одна из главных составляющих развития экономики // Стандарты и качество, 2000. № 2.
45. Менеджмент качества как он есть/М.Г. Круглов, Г.М. Шишков. – М.: Эксмо, 2006. – 544 с. – (Качественный менеджмент).
46. Борисова Е.В., Борзов В.И. Актуальность анализа затрат на качество продукции в условиях высокой конкуренции между производителями. Материалы школы-семинара молодых учёных «Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством продукции». 22-27 сент. 2003 г./ТГТУ. Тамбов, 2003. – с. 230-233.
47. В.А. Васильев, Ш.Н. Каландаришвили. Экспертная оценка качества: принципы и практика. Учеб. пособие / Под ред. Васильева В.А. – М.: «МАТИ»-Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского, 2003. – 100 с.
48. А.А. Колесников, И.Ф. Козин, С.А. Кожевников, В.С. Соболев, С.А. Степанов, А.Ю. Щербаков. Всеобщий менеджмент качества/Под общ. Ред. С.А. Степанова. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001. 200 с.
49. ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Системы менеджмента качества. Требования. ИПК Издательство стандартов, 2001.
50. ГОСТ Р ИСО 9004-2001. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности. ИПК Издательство стандартов, 2001.
51. В.И. Галлеев, К.В. Пичугин. Кухня процессного подхода // Методы менеджмента качества, 2003, № 4.
52. Методы реализации процессного подхода. Серия «Всё о качестве. Отечественные разработки». Выпуск 10, 2001. – М.: НТК «Трек», 2002, 48 с.

53. Подлипаев Л.Д. Технология внедрения и постоянного улучшения системы менеджмента качества на предприятии. – М.: Гелиос АРВ, 2004. – 408 с.
54. Борисова Е.В., Борзов В.И., Москалев П.В. Проблемы измерения результативности и эффективности СМК. Труды третьей Всероссийской научно-практической конференции «Применение ИПИ-технологий в производстве». – М.: ИЦ МАТИ, 2005. – с. 143-145.
55. Борисова Е.В., Борзов В.И., Москалев П.В. Совершенствование мониторинга процессов системы менеджмента качества. Новые материалы и технологии – НМТ-2004. Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции. Москва, 17-19 ноября 2004 г. В 3 томах. Т 3. – М.: Издательско-типографский центр «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2004. - с. 117-118.
56. Борзов В.И., Борисова Е.В., Яропетов А.Р. Проблема реализации систем менеджмента качества, соответствующих требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2001, на российских предприятиях. XXX Гагаринские чтения. Тезисы докладов международной молодёжной конференции. Москва, 6-10 апреля 2004 г. – М.: МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2004. – с. 102-103.
57. Большаков А.С. Моделирование в менеджменте: Учеб. пособие. – М.: Информационно-издательский дом «Филинь», Рилант, 2000. – 464 с.
58. Управление качеством продукции. Введение в системы менеджмента качества: Учебное пособие. Пономарёв С.В., Мищенко С.В., Белобрагин В.Я. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2004. – 245 с.
59. Робертсон Б. Лекции об аудите качества: Пер. с англ.; Под ред. Ю.П. Адлера. – М.: Стандарты и качество, 2000. – 264 с.
60. Менеджмент систем качества / М.Г. Круглов, С.К. Сергеев, В.А. Такташов и др. - М.: Изд-во стандартов, 1997.
61. Брагин В.В., Чабон Ф. Оценка риска и последствий отказов комплексной системы, конструкции, процессов. Рынок и качество Ярославии, № 1, 1997.
62. Организация производства и управление предприятием: Учебник / Туровец О.Г., Бухалков М.И., Родинов В.Б. и др.; Под ред. О.Г. Туровца. – 2-е изд. - М.: ИНФРА-М, 2005. – 544 с. – (Высшее образование).

63. Гатауллин Р.М. Организация конкурентоспособного производства. Средства и методы. М.: «ЛАТМЭС», 2001, 365 с.
64. Афонин А.Н. Управление качеством производственных и технологических процессов изготовления лопаточных машин газотурбинных двигателей. – М.: МАТИ, 2005. – 313 с.
65. Управление производством: Учебник / Под ред. Н.А. Саломатина. – М.: ИНФА – М, 2001. 219 с.
66. Версан В.Г., Сиськов В.И., Дубицкий Л.Г. и др. Интеграция производства и управления качеством продукции. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 320 с.
67. Одинокоев С.А., Родионов В.С., Калинин А.А., Васильев В.А. Управление качеством технологических процессов. М.: «МАТИ» - РГТУ, 2001, 84 с.
68. Федюкин В.К. Управление качеством процессов. – СПб.: Питер, 2004. – 208 с.: ил.
69. Жулинский С.Ф., Новиков Е.С., Поспелов В.Я. Статистические методы в современном менеджменте качества. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2001. – 208 с.
70. Барабанова О.А., Васильев В.А., Москалёв П.В. Семь инструментов управления качеством. Бенчмаркинг. Развёртывание функции качества. – М.: Изд-во «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2003. – 48 с.
71. Барабанова О.А., Васильев В.А., Одинокоев С.А. Семь инструментов контроля качества. – М.: Издательский центр «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2003. – 88 с.
72. А.Ю. Афонин, В.А. Васильев, С.В. Васильева, П.В. Москалёв, С.А. Одинокоев, В.С. Родионов, М.А. Скворцов. Современное управление качеством на предприятиях: методы, инструменты, рекомендации. / Под ред. проф. В.А. Васильева. М.: Издательско-типографский центр «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2002. 196 с.
73. Мирош Ю.М. Современные подходы и методы обеспечения качества, надёжности и безопасности изделий ракетно-космической техники. – М.: ИТЦ МАТИ, 2005, 372 с.

74. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: Учебник/Л.Н. Александровская, И.З. Аронов, А.И. Елизаров и др.; под ред. В.П. Соколова. – М.: Логос, 2001. – 232 с.: ил.
75. Строителев В.Н., Яницкий В.Е. Статистические методы в управлении качеством. – М.: «Европейский центр по качеству», 2002. 164 с.
76. Федюкин В.К., Дурнев В.Д., Лебедев В.Г. Методы оценки и управления качеством промышленной продукции: Учебник. – М.: Информационно-издательский дом «Филинь», Рилант, 2001. – 328 с.
77. Чекмарёв А.Н., Барвинок В.А., Шалавин В.В. Статистические методы управления качеством. – М.: Машиностроение, 1999. – 320 с.
78. Александровская Л.Н., Афанасьев А.П., Лисов А.А. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем. – М.: Логос, 2001.
79. Александровская Л.Н., Аронов И.З., Елизаров А.И. и др. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем. – М.: Логос, 2001.
80. Быков А.А., Мурзин Н.В. Проблемы анализа безопасности, человека, общества. СПб, 1997.
81. Миттаг Х.-Й., Ринне Х. Статистические методы обеспечения качества / Пер. с нем. – М.: ВНИИС, 1995. – 616 с.
82. Методическое пособие по статистическим методам управления качеством продукции. – М.: ВНИИС, 1995.
83. Калинин А.А., Васильев В.А. Управление качеством сложных технических систем / В сб. Третий международный аэрокосмический конгресс IAC 2000. – М.: Изд-во СИП РИА, 2000, с. 235-239.
84. Конти Т. Возможности и риски при использовании моделей делового совершенства. //Стандарты и качество.– 2003. – №1.
85. Инструменты качества: гистограммы, диаграмма Парето // Всё о качестве. Зарубежный опыт. – М.: НТК «Трек», 2000. – Вып. 13. – 25 с.
86. Просто о сложном. Введение в статистический контроль качества производственного процесса // Всё о качестве. Зарубежный опыт. – М.: НТК «Трек», 2000. – Вып. 11. – 21 с.

87. Липунцов Ю.П. Управление процессами. Методы управления предприятием с использованием информационных технологий. – М.: ДМК Пресс; М.: компания Ай Ти, 2003. – 224 с.
88. Александровская Л.Н., Аронов И.З., Соколов В.П., Цырков А.В. Вероятностные методы анализа безопасности технических систем: Учеб. пособие. М.: МАТИ, 1997.
89. Аронов И.З. Современные проблемы безопасности технических систем и анализа риска // Стандарты и качество. 1998. № 3.
90. Аронов И.З., Грозовский Г.И., Шпер В.Л. Анализ безопасности сложных технических систем на основе статистических процедур обработки информации о нарушениях эксплуатации // Вестник машиностроения. – 1997. - № 5.
91. Аронов И.З., Панкина Г.В. Оценка критичности отказов промышленного оборудования на основе объединения экспертного подхода и статистического моделирования // Методы менеджмента качества. – 2000. - № 12.
92. Е.И. Солодков, С.В. Пономарёв, А.Н. Жмаев, С.В. Миронов, А.А. Бушков. Применение FMEA-анализа для улучшения процесса градуировки электронных весов // Методы менеджмента качества, 2004, № 8.
93. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных несоответствий. ИПК Издательство стандартов, 2001.
94. ГОСТ 27.310-95. Надёжность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. ИПК Издательство стандартов, 2001.
95. FMEA при проектировании и совершенствовании продукции и процессов. Серия «Всё о качестве. Отечественные разработки». Выпуск 12, 2001. – М.: НТК «Трек», 2002, 23 с.
96. Анализ видов и последствий потенциальных отказов. FMEA. Справочное руководство. Перевод с англ. – Н.Новгород: СМЦ «Приоритет», 2003. – 86 с.
97. Панкина Г.В. Подтверждение соответствия продукции установленным требованиям: возможности и перспективы. М.: «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2001. 163 с.

98. Борзов В.И., Васильева С.В., Родионов А.В. Обеспечение и подтверждение безопасности сложной технической продукции в современных условиях // Всероссийский научно-технический журнал «Проектирование и технология электронных средств», 2006, № 4, с. 14-18.
99. Борзов В.И. Методика проведения анализа видов и последствий отказов на основе процессного подхода. Сборник материалов пятой Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством», 9-10 марта 2006 года, ГОУ ВПО «МАТИ» - Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского. – М.: МАТИ, 2006, с. 35-36.
100. Борзов В.И., Борисова Е.В., Москалев П.В. Эффективность применения программных средств для проведения FMEA-анализа. Труды третьей Всероссийской научно-практической конференции «Применение ИПИ-технологий в производстве». – М.: ИЦ МАТИ, 2005. – с. 83-84.
101. Борзов В.И., Борисова Е.В. Метод FMEA: особенности, назначение и область применения. Научные труды МАТИ. Вып. 9 (81). – М.: ИЦ МАТИ, 2005. – с. 219-222.
102. Борзов В.И., Борисова Е.В., Москалев П.В. Метод FMEA и процессный подход. Научные труды МАТИ. Вып. 8 (80). – М.: ИЦ МАТИ, 2005. – с. 263-265.
103. Аронов И.З., Шмакалов А.Е. Метод FMEA и мониторинг бизнес-процессов // Методы менеджмента качества. - 2005. - №10.
104. Розно М.И. Как научиться смотреть вперед? Внедрение FMEA-методологии // Методы менеджмента качества. - 2000. - № 6.
105. Лозован А.А. Ионно-плазменная обработка поверхностей изделий сложной формы и соединений. М.: «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2001. 175 с.
106. В.А. Васильев, А.А. Лозован, И.Н. Пашков, М.М. Серов. Научные предпосылки и практика производства метастабильных материалов. - М.: «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2002. - 206 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ
на процесс нанесения многослойных
защитно-декоративных покрытий
на изделия сложной формы

Москва

2006 г.

Содержание:

	Стр.
1. Введение	4
2. Применяемые материалы	4
3. Требования к качеству применяемых материалов	4
4. Требования к качеству поверхности обрабатываемых изделий	4
5. Применяемое оборудование	5
6. Измерительное оборудование и оснастка	5
7. Средства защиты	5
8. Правила техники безопасности	5
9. Алгоритм проведения комплексного технологического процесса нанесения покрытий	6
10. Технологическая карта. Хронология ведения технологического процесса нанесения TiN покрытий и контроль технологических параметров (1-ый слой многослойной композиции)	7
11. Технологическая карта. Хронология ведения технологического процесса нанесения порошкового грунта и контроль технологических параметров (2-ой слой многослойной композиции)	8

12. Технологическая карта. Хронология ведения технологического процесса нанесения декоративного покрытия и контроль технологических параметров (3-ой слой многослойной композиции)	9
13. Технологическая карта. Хронология ведения технологического процесса нанесения защитного слоя (порошкового лака) и контроль технологических параметров (4-ой слой многослойной композиции)	10
14. Заключение	11

1. Введение

Настоящий регламент определяет порядок проведения и параметры технологического процесса нанесения многослойных защитно-декоративных покрытий на металлические изделия сложной формы.

2. Применяемые материалы

1. Титан ВТ1-00.
2. Порошковая краска.
3. Порошковый лак.
4. Лист латунный ЛС-59.
5. Органические растворители (бензин, ацетон, спирт).

3. Требования к качеству применяемых материалов

1. На все вышеуказанные материалы должны быть сертификаты качества.
2. Латунный лист должен быть ровным и не иметь царапин.
3. Порошковые краски и лак должны поставляться в герметичной фирменной упаковке.

Примечание: Допускается использование развесных порций порошковых красок и лаков по указанию технолога.

4. Требования к качеству поверхности обрабатываемых изделий

1. Поверхности, предназначенные для нанесения покрытий, должны быть сухими, обеспыленными, без загрязнений маслами или смазками и не иметь налетов вторичной коррозии, образующейся в процессе обработки.
2. Контроль состояния поверхности проводят непосредственно перед нанесением покрытий.
3. Шероховатость поверхности согласно ГОСТ 2789-73 R_z не более 60 мкм.

5. Применяемое оборудование

1. Химический шкаф с вытяжной вентиляцией.
2. Шкаф сушильный типа СНОЛ-3, 5.
3. Установка нанесения покрытий магнетронным распылением.

4. Установка нанесения покрытий в плазме несамостоятельного тлеющего разряда.

5. Камера нанесения порошковых материалов.

6. Термошкаф полимеризации порошковых материалов.

6. Измерительное оборудование и оснастка

1. Микроинтерферометр МИМ-4 для измерения толщины покрытий.

2. Оснастка для крепления деталей при нанесении покрытий.

3. Транспортные тележки.

4. Мерный стакан для дозирования порошка.

5. Стойки для оснастки с изделиями.

7. Средства защиты

1. Защитная маска.

2. Респиратор 3М (9925).

3. Перчатки х/б.

4. Спецодежда.

8. Правила техники безопасности

К работе на оборудовании допускаются лица:

- прошедшие предварительное обучение на рабочем месте;
- ознакомленные с инструкциями по эксплуатации данного оборудования;
- аттестованные по ПТЭ и ПТБ при работе в электроустановках.

9. Алгоритм проведения комплексного технологического процесса

нанесения покрытий



10. Технологическая карта. Хронология ведения технологического процесса нанесения TiN покрытий и контроль технологических параметров (1-ый слой многослойной композиции)

№ п.п.	Операция	Время мин	Контролируемые параметры
1	Включить установку нанесения покрытий и подготовить к работе	50	
2	Установить детали в рабочей камере	10	
3	Заккрыть крышку камеры и произвести откачку камеры	15	$P_{ост} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$
4	Напустить аргон в камеру	1	$P_{ост} = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$
5	Нанести подслои Ti	5	$U_{м} = -800 \text{ В}$ $I_{м} = 2,4 \text{ А}$ $U_{а} = 100 \text{ В}$ $I_{р} = 4,5 \text{ А}$
6	Подать напряжение смещения на детали	1	$U_{см} = -100 \text{ В}$
7	Напустить азот в камеру	1	$P_{ост} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$
8	Нанести TiN покрытие	60	$U_{м} = -800 \text{ В}$ $I_{м} = 2,4 \text{ А}$ $U_{а} = 100 \text{ В}$

			$I_p = 4,5 \text{ A}$
9	Отключить питание электродов камеры	1	
10	Отключить подачу рабочих газов	1	
11	Напустить воздух в камеру	2	
12	Открыть крышку камеры и достать детали	3	

11. Технологическая карта. Хронология ведения технологического процесса нанесения порошкового грунта и контроль технологических параметров (2-ой слой многослойной композиции)

№ п.п.	Операция	Время мин	Контролируемые параметры
1	Включить вентиляцию, камеру нанесения порошковых покрытий и термошкаф полимеризации и подготовить их к работе	15	$T_{шк} = 100^{\circ}C$
2	Закрепить детали на технологической оснастке	10	
3	Установить оснастку с деталями на карусель камеры нанесения покрытий	3	

4	Заполнить бачок распылителя порошком (грунт) с помощью мерного стакана	1	
5	Включить высоковольтный блок питания распылителя	1	
6	Включить карусель камеры нанесения покрытий	1	
7	Включить вентиляцию камеры нанесения покрытий	1	
8	Нанести покрытие порошкового грунта	5	
9	Снять оснастку с деталями с карусели камеры нанесения покрытий и установить ее на транспортную тележку	1	
10	Подвести транспортную тележку с деталями к термошкафу и установить оснастку с деталями в шкаф	1	
11	Провести полимеризацию	20	$T_{\text{шк}} = 180^{\circ}\text{C}$
12	Открыть шкаф и достать детали	3	

12. Технологическая карта. Хронология ведения технологического процесса нанесения декоративного покрытия и контроль технологических параметров (3-ой слой многослойной композиции)

№ п.п.	Операция	Время мин	Контролируемые параметры
1	Включить установку нанесения покрытий магнетронным распылением и подготовить к работе	50	
2	Установить детали в рабочей камере	5	
3	Закрыть дверь камеры и произвести откачку камеры	10	$P_{ост} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$
4	Включить манипулятор	1	
5	Напустить аргон в камеру	1	$P_{ост} = 5 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$
6	Включить магнетрон и нанести декоративное покрытие (латунь)	10	$U_p = 600 \text{ В}$
7	Выключить магнетрон и манипулятор	1	

10	Отключить подачу аргона	1	
11	Напустить воздух в камеру	2	
12	Открыть дверь камеры и достать детали	3	

13. Технологическая карта. Хронология ведения технологического процесса нанесения защитного слоя (порошкового лака) и контроль технологических параметров (4-ой слой многослойной композиции)

№ п.п.	Операция	Время мин	Контролируемые параметры
1	Включить вентиляцию, камеру нанесения порошковых покрытий и термошкаф полимеризации и подготовить их к работе	15	$T_{шк} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$
2	Закрепить детали на технологической оснастке	10	

3	Установить оснастку с деталями на карусель камеры нанесения покрытий	3	
4	Заполнить бачок распылителя порошком (лак) с помощью мерного стакана	1	
5	Включить высоковольтный блок питания распылителя	1	
6	Включить карусель камеры нанесения покрытий	1	
7	Включить вентиляцию камеры нанесения покрытий	1	
8	Нанести покрытие порошкового лака	5	
9	Снять оснастку с деталями с карусели камеры нанесения покрытий и установить ее на транспортную тележку	1	
10	Подвести транспортную тележку с деталями к термошкафу и установить оснастку с деталями в шкаф	1	
11	Провести полимеризацию лака	20	$T_{шк} = 160^{\circ}C$
12	Открыть шкаф и достать детали	3	

14. Заключение

Данный технологический регламент позволяет проводить нанесение защитно-декоративных покрытий различных цветов и оттенков. В технологической карте получения третьего слоя (п. 12) приведены условия получения покрытия «под золото». Замена латуни на другой напыляемый материал позволит изменить цвет покрытия – например, нанесение алюминия даст цвет близкий к серебряному.