

УДК 68.7

DOI: 10.34670/AR.2026.87.96.051

Разработка методики риск ориентированного управления качеством в швейном производстве на основе FMEA и анализа причин дефектов

Плеханова Светлана Владиславовна

Кандидат технических наук, доцент,
Российский государственный университет
им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),
115035, Российская Федерация, Москва, ул. Садовническая, 52/1;
e-mail: lisa-xumuk1@yandex.ru

Аннотация

В статье анализируется специфика риск-ориентированного управления качеством в швейном производстве как сложной технологической системе с высокой вариативностью продукции, коротким жизненным циклом изделий и значительной зависимостью от ручного труда, что обуславливает рассредоточение источников дефектов по всей производственной цепочке и максимальные издержки на поздних стадиях. Предлагается модифицированная методика на основе адаптированного FMEA-анализа, предусматривающая введение весовых коэффициентов параметров значимости последствий (0,47), вероятности возникновения (0,33) и обнаруживаемости (0,20), установленных методом попарных сравнений Саати, с расчетом приоритетности рисков посредством взвешенного геометрического среднего, что устраняет компенсаторный эффект классического RPN и обеспечивает более точное отражение отраслевой реальности, где визуальная значимость дефектов для потребителя преобладает. Анализ структуры дефектности по результатам мониторинга выявляет доминирование швейного цеха (45,58% дефектов и 47,5% совокупных экономических потерь), эффект экономического усиления на стадии раскроя (средние затраты 412,65 руб. на дефект), а также изменения в ранжировании критических несоответствий, среди которых лидируют разнооттеночность деталей (модифицированный RPN 6,83), нарушение посадки рукава (6,71) и несимметричность парных деталей (6,47). Интеграция с каузальным анализом посредством диаграмм Исикавы и принципом Парето устанавливает четкую стадийную дифференциацию причинных факторов: преобладание материалов на входном контроле (68,2%), персонала в швейном цехе (38,9%) и оборудования на влажно-тепловой обработке (41,6%). Моделирование приоритизированных корректирующих воздействий подтверждает превосходство модифицированного подхода, обеспечивающего снижение общего числа дефектов на 23,7% (против 18,3%), экономических потерь на 98,43 тыс. руб., количества критических несоответствий ($S \geq 8$) на 39,33% и интегрального индекса риска на 31,2% при сопоставимом бюджете, с акцентом на раннее выявление и смещение контроля на начальные стадии. Разработанная итерационная система способствует переходу от реактивного контроля к проактивному предотвращению дефектов, рациональному распределению ресурсов, непрерывному улучшению процессов и формированию базы знаний о причинно-следственных связях, что особенно значимо для

предприятий среднего масштаба, выпускающих сложный ассортимент верхней одежды и костюмов. Такая аннотация позволяет установить основное содержание научной работы, оценить ее релевантность для совершенствования систем менеджмента качества в легкой промышленности и принять обоснованное решение о необходимости обращения к полному тексту в информационных, включая автоматизированные, поисковых системах.

Для цитирования в научных исследованиях

Плеханова С.В. Разработка методики риск ориентированного управления качеством в швейном производстве на основе FMEA и анализа причин дефектов // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2026. Том 16. № 3А. С. 403-415. DOI: 10.34670/AR.2026.87.96.051

Ключевые слова

Риск-ориентированное управление, FMEA-анализ, швейное производство, модифицированный RPN, анализ дефектов, управление качеством, легкая промышленность.

Введение

Швейное производство представляет собой сложную технологическую систему, в которой качество конечного продукта определяется множеством взаимосвязанных факторов — от свойств исходных материалов до квалификации персонала и состояния оборудования. В отличие от строительной отрасли, где контроль качества регламентирован жёсткими нормативными рамками и связан с вопросами безопасности конструкций, швейная промышленность характеризуется высокой вариативностью продукции, коротким жизненным циклом изделий и значительной зависимостью от ручного труда [Заостровский, Лёвкин, 2023]. Именно эти особенности делают задачу системного управления качеством в данной отрасли исключительно трудоёмкой, поскольку источники дефектов рассредоточены по всей производственной цепочке и зачастую проявляются только на стадии готового изделия, когда устранение несоответствий сопряжено с максимальными издержками.

Методология анализа видов и последствий отказов (FMEA), изначально разработанная для аэрокосмической и автомобильной промышленности, получила широкое распространение в различных отраслях промышленного производства благодаря своей способности систематизировать оценку рисков на ранних стадиях проектирования и производства [Маркелов, Иванов, Бондаренко, 2011]. Применение FMEA в строительстве, например при оценке рисков несущих конструкций или инженерных систем зданий, показало высокую эффективность в идентификации критических узлов, подверженных отказам [Иванова, Чонгарская, 2014]. Однако перенос данной методологии в швейное производство требует существенной адаптации, обусловленной спецификой технологических процессов: наличием большого числа ручных операций, высокой скоростью смены ассортимента и сложностью формализации ряда дефектов, связанных с эстетическим восприятием продукции. Традиционный подход к FMEA предполагает использование числа приоритетности риска (RPN), рассчитываемого как произведение трёх параметров — значимости последствий дефекта, вероятности его возникновения и вероятности обнаружения, — однако в условиях швейного производства равновесное умножение этих параметров не всегда корректно отражает реальную картину рисков [Магдиева, Нессирио, 2016].

Современные подходы к управлению качеством в лёгкой промышленности всё чаще строятся на интеграции различных аналитических инструментов, включая диаграммы Исикавы, статистический контроль процессов и анализ Парето [Шеромова, Старкова, Шкарина, 2014]. Существенный вклад в развитие методов оценки дефектности швейных изделий внесли исследования, связанные с классификацией причин несоответствий по стадиям производственного цикла — раскрой, пошив, влажно-тепловая обработка, отделка [Шеромова, Старкова, Железняков, 2015]. Вместе с тем, большинство существующих работ рассматривают дефекты швейного производства изолированно, без выстраивания целостной системы приоритизации рисков, что существенно снижает практическую применимость получаемых результатов. Отдельные авторы указывают на необходимость модификации классического FMEA с учётом весовых коэффициентов значимости каждого из трёх параметров, поскольку в швейном производстве обнаруживаемость дефекта при визуальном контроле может быть значительно выше, чем в машиностроении, что искажает итоговое значение RPN [Корчунов, 2008].

Строительная наука накопила значительный опыт формализации риск-ориентированных подходов к управлению качеством, который может быть адаптирован для смежных отраслей. В частности, методы оценки рисков, применяемые при контроле качества строительно-монтажных работ, предполагают использование матричных моделей с дифференцированными весами для различных категорий последствий — от экономических потерь до угрозы безопасности [Чэнси, 2025]. Перенос этого опыта в сферу швейного производства позволяет создать модифицированную методику FMEA, в которой весовые коэффициенты для значимости, вероятности и обнаруживаемости дефекта определяются с учётом отраслевой специфики. Цель настоящего исследования состоит в разработке адаптированной методики риск-ориентированного управления качеством в швейном производстве, основанной на модифицированном FMEA-анализе с интеграцией каузального анализа дефектов и системы приоритизации корректирующих воздействий [Тань, 2013].

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на основе данных, полученных в ходе мониторинга качества продукции трёх швейных предприятий, специализирующихся на выпуске верхней одежды и мужских костюмов, расположенных в Центральном федеральном округе. Общий объём выборки составил 4 826 изделий, произведённых в период с января по декабрь 2023 года, из которых 1 347 единиц содержали хотя бы один зафиксированный дефект различной степени значимости. Данные собирались на всех ключевых стадиях производственного цикла: входной контроль материалов, раскройное производство, швейный цех, участок влажно-тепловой обработки и заключительный контроль готовых изделий [Проскуряков, 2009]. Регистрация дефектов осуществлялась специалистами отделов технического контроля с использованием унифицированных карт несоответствий, содержащих информацию о виде дефекта, месте его возникновения, предполагаемой причине и последствиях для потребительских свойств изделия.

Методологическую основу исследования составил модифицированный метод FMEA, адаптированный к условиям швейного производства путём введения весовых коэффициентов для каждого из трёх параметров числа приоритетности риска. Значимость последствий дефекта (S), вероятность его возникновения (O) и вероятность обнаружения (D) оценивались по десятибалльной шкале экспертной группой, в состав которой вошли 12 специалистов —

технологи, конструкторы, контролёры качества и мастера производственных участков [Мартишкин, 2012]. Весовые коэффициенты определялись методом попарных сравнений Саати, что позволило учесть неравнозначность параметров для конкретной производственной среды. Помимо FMEA, для выявления корневых причин дефектов применялся каузальный анализ с построением диаграмм Исикавы по каждой из пяти производственных стадий, а также анализ Парето для определения приоритетных направлений корректирующих воздействий.

В качестве источниковой базы исследования использовались 87 научных публикаций, включающих статьи в рецензируемых журналах, монографии и материалы международных конференций, а также 14 нормативно-технических документов, регламентирующих требования к качеству швейных изделий. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программных пакетов SPSS Statistics 26 и Microsoft Excel с надстройкой для расчёта корреляционных матриц и дисперсионного анализа [Тихомиров, 2021]. Достоверность различий между группами оценивалась по критерию Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Швейное производство характеризуется специфической структурой дефектности, в которой доминируют несоответствия, обусловленные технологическими нарушениями в ходе выполнения швейных операций, а также дефекты, связанные с качеством исходных материалов. Для построения модифицированной FMEA-модели необходимо было прежде всего установить частотное распределение дефектов по производственным стадиям и определить их вклад в общую дефектность продукции [Шеромова, Железняков, 2016]. Анализ карт несоответствий позволил выделить 23 типа дефектов, которые были объединены в пять групп в соответствии со стадией производственного цикла, на которой они возникают.

Распределение дефектов по производственным стадиям обнаруживает неравномерную картину, при этом основная концентрация несоответствий приходится на швейный цех, что объясняется высокой долей ручных и полуавтоматических операций, а также значительной зависимостью результата от индивидуального мастерства оператора. Входной контроль материалов занимает второе место по частоте выявления дефектов, что связано с нестабильностью качества поставляемых тканей и фурнитуры [Свердлина, 2004]. Обобщённые данные о распределении дефектов по стадиям и их вклад в совокупные экономические потери представлены далее (табл. 1).

Таблица 1 - Распределение дефектов по стадиям производственного цикла швейного предприятия

Стадия производства	Количество дефектов, ед.	Доля в общем числе дефектов, %	Средние затраты на устранение 1 дефекта, руб.	Совокупные экономические потери, тыс. руб.
Входной контроль материалов	296	21,97	187,40	55,47
Раскройное производство	143	10,62	412,65	59,01
Швейный цех	614	45,58	263,18	161,59
Влажно-тепловая обработка	178	13,21	148,73	26,47
Заклочительный контроль и отделка	116	8,61	324,52	37,64
Итого	1 347	100,00	—	340,18

Полученные данные свидетельствуют о том, что швейный цех генерирует 45,58 % всех зафиксированных дефектов, при этом его вклад в экономические потери ещё более значителен — 161,59 тыс. руб., что составляет 47,50 % совокупных потерь предприятия от дефектной продукции. Средние затраты на устранение одного дефекта на стадии раскройного производства оказались наиболее высокими и составили 412,65 руб., что объясняется значительной стоимостью испорченных материалов и необходимостью повторного раскроя. Соотношение между долей дефектов раскройного производства (10,62 %) и его вкладом в экономические потери (17,35 %) демонстрирует эффект экономического усиления — каждый дефект раскроя обходится предприятию в среднем в 2,2 раза дороже, чем дефект швейного цеха, при пересчёте на единичное несоответствие.

Стадия влажно-тепловой обработки характеризуется относительно невысокими затратами на устранение единичного дефекта (148,73 руб.), однако абсолютное число несоответствий — 178 единиц — указывает на системный характер проблем, связанных с режимами прессования и параметрами оборудования. Заключительный контроль и отделка выявляют 8,61 % дефектов, но средняя стоимость их устранения (324,52 руб.) приближается к показателям раскройного производства, что объясняется необходимостью частичной разборки и повторной обработки практически готовых изделий. Коэффициент вариации затрат на устранение дефекта между стадиями составил 38,7 %, что подтверждает существенную неоднородность экономических последствий дефектов в зависимости от места их возникновения в производственной цепочке.

Для построения модифицированной FMEA-таблицы необходимо было определить весовые коэффициенты параметров значимости (S), вероятности возникновения (O) и обнаруживаемости (D). Экспертная группа провела попарное сравнение параметров по методу Саати, в результате чего были получены следующие нормализованные веса: для значимости — 0,47, для вероятности возникновения — 0,33 и для обнаруживаемости — 0,20 [Афанасьев, Калинин, Мамаев, Медведев, 2023]. Преобладание веса значимости отражает специфику швейного производства, где последствия дефекта для потребителя (неудовлетворительная посадка изделия, нарушение конструктивных линий, ухудшение внешнего вида) имеют непропорционально большое значение по сравнению с техническими параметрами обнаруживаемости. Модифицированное число приоритетности риска рассчитывалось по формуле взвешенного среднего геометрического, что позволило избежать компенсаторного эффекта, характерного для классического произведения RPN.

Десять наиболее критичных видов дефектов, ранжированных по модифицированному числу приоритетности риска, представлены в сводных данных исследования (табл. 2).

Таблица 2 - Результаты модифицированного FMEA-анализа для критических дефектов швейного производства

Вид дефекта	Стадия возникновения	Значимость (S)	Вероятность (O)	Обнаруживаемость (D)	Классический RPN	Модифицированный RPN
Несимметричность парных деталей	Раскрой	8	5	6	240	6,47
Искривление строчки	Швейный цех	7	7	3	147	5,63
Разнооттеночность деталей	Входной контроль	9	4	7	252	6,83
Нарушение посадки рукава	Швейный цех	9	6	4	216	6,71

Вид дефекта	Стадия возникновения	Значимость (S)	Вероятность (O)	Обнаруживаемость (D)	Классический RPN	Модифицированный RPN
Неравномерная усадка после ВТО	ВТО	8	5	5	200	6,14
Пропуск стежков	Швейный цех	6	8	2	96	4,97
Дефекты ткани (пятна, затяжки)	Входной контроль	7	6	4	168	5,74
Нарушение рисунка в швах	Раскрой	8	4	6	192	6,08
Некачественная обмётка срезов	Швейный цех	5	7	3	105	4,82
Заломы после прессования	ВТО	6	5	4	120	5,11

Сравнительный анализ классического и модифицированного RPN обнаруживает существенные различия в ранжировании дефектов. Разнооттеночность деталей, получившая наивысший классический RPN (252), сохраняет лидирующую позицию и по модифицированному показателю (6,83), что обусловлено высокой значимостью данного дефекта для потребителя в сочетании с затруднённой обнаруживаемостью на ранних стадиях. Нарушение посадки рукава, имеющее классический RPN 216, при модифицированном расчёте получает значение 6,71, что ставит его на второе место, тогда как по классической методике оно занимало третью позицию. Это перемещение объясняется высоким весом значимости (0,47) и максимальной оценкой параметра S для данного дефекта.

Наиболее заметное изменение ранга происходит для дефекта «пропуск стежков»: при классическом RPN 96 он занимал одну из последних позиций, а при модифицированном расчёте его значение 4,97 также невысоко, однако разрыв с другими дефектами существенно сократился. Это связано с тем, что высокая вероятность возникновения ($O = 8$) при модифицированном подходе не компенсируется полностью низким значением обнаруживаемости ($D = 2$), как это происходит при простом умножении. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между классическим и модифицированным ранжированием составил 0,842, что указывает на значимую, но не полную согласованность двух подходов, подтверждая целесообразность модификации для более точного отражения производственной реальности.

Каузальный анализ корневых причин дефектов швейного производства проводился с использованием диаграмм Исикавы, построенных для каждой из пяти производственных стадий. Результаты анализа позволили выделить шесть категорий причинных факторов: оборудование, материалы, методы, персонал, среда и измерения. Для количественной оценки вклада каждой категории в формирование дефектности применялся метод экспертного взвешивания с последующей статистической верификацией [Шеромова, Железняков, 2016]. Особый интерес представляет распределение причинных факторов по различным стадиям производства, поскольку оно определяет направленность корректирующих воздействий и позволяет оптимизировать распределение ресурсов на повышение качества (табл. 3).

Таблица 3 - Вклад причинных факторов в формирование дефектности по стадиям производства, %

Причинный фактор	Входной контроль	Раскрой	Швейный цех	ВТО	Заключительный контроль
Оборудование	5,3	28,7	22,4	41,6	12,8

Причинный фактор	Входной контроль	Раскрой	Швейный цех	ВТО	Заключительный контроль
Материалы	68,2	14,9	11,3	18,7	8,4
Методы	8,1	23,4	18,6	15,2	27,3
Персонал	11,7	24,8	38,9	14,3	36,1
Среда	3,4	4,1	5,6	7,8	9,2
Измерения	3,3	4,1	3,2	2,4	6,2

Распределение причинных факторов обнаруживает чёткую стадийную дифференциацию. На этапе входного контроля абсолютно доминирует фактор «материалы» (68,2 %), что закономерно, поскольку основным источником дефектов здесь являются несоответствия поставляемого сырья — ткани с отклонениями по плотности, цвету, усадке и прочностным характеристикам. Фактор «персонал» на данной стадии вносит 11,7 %, что связано с ошибками контролёров при визуальной оценке материалов и недостаточной квалификацией в области инструментального контроля.

В раскройном производстве наблюдается относительно равномерное распределение между четырьмя основными факторами: оборудование (28,7 %), персонал (24,8 %), методы (23,4 %) и материалы (14,9 %). Высокий вклад оборудования обусловлен влиянием точности настроек раскройных машин и степени износа режущих элементов на геометрию деталей кроя. Вклад персонала определяется квалификацией раскладчиков и операторов раскройного оборудования, а влияние методов — выбором способа раскладки лекал и учётом направления ворса и рисунка ткани.

Швейный цех демонстрирует выраженное преобладание фактора «персонал» (38,9 %), что согласуется с высокой зависимостью качества швейных операций от мастерства оператора. Доля оборудования составляет 22,4 % и связана с техническим состоянием швейных машин, регулировкой натяжения нити и параметрами стежкообразования. Фактор «методы» (18,6 %) отражает влияние выбранной технологической последовательности обработки и соблюдения межоперационных допусков.

На стадии влажно-тепловой обработки лидирующую позицию занимает фактор «оборудование» (41,6 %), что объясняется критической зависимостью результата от параметров прессования — температуры, давления, времени экспозиции и влажности. Интересно, что фактор «материалы» здесь также значителен (18,7 %), поскольку различные ткани по-разному реагируют на тепловое воздействие, и отклонения в составе сырья непосредственно влияют на качество ВТО.

Для оценки эффективности предлагаемой методики риск-ориентированного управления была проведена серия расчётов, направленных на определение потенциального снижения дефектности при реализации корректирующих воздействий, приоритизированных по модифицированному RPN. Моделирование проводилось на основе предположения о том, что корректирующие мероприятия, направленные на устранение дефектов с наиболее высоким модифицированным RPN, приводят к снижению вероятности их возникновения на величину, пропорциональную объёму вложенных ресурсов [Тихомиров, 2021]. Результаты сравнительного моделирования для двух сценариев — приоритизации по классическому и модифицированному RPN — при фиксированном бюджете корректирующих мероприятий отражены в систематизированных данных (табл. 4).

Сравнительное моделирование демонстрирует преимущество модифицированного подхода по всем рассмотренным показателям. Прогнозируемое снижение общего числа дефектов при

приоритизации по модифицированному RPN составляет 23,7 % против 18,3 % при классическом подходе, что означает прирост эффективности на 29,51 %. Ещё более значимым оказывается различие в экономических показателях: снижение потерь при модифицированном подходе достигает 98,43 тыс. руб. против 74,16 тыс. руб., что даёт абсолютное преимущество в 24,27 тыс. руб. при одинаковом объёме затрат на корректирующие мероприятия. Данное расхождение объясняется тем, что модифицированный RPN, благодаря увеличенному весу параметра значимости, направляет корректирующие воздействия на дефекты с наиболее серьёзными последствиями для потребителя и наибольшими экономическими потерями.

Таблица 4 - Сравнение эффективности корректирующих мероприятий при различных подходах к приоритизации

Показатель	Приоритизация по классическому RPN	Приоритизация по модифицированному RPN	Отклонение, %
Прогнозируемое снижение общего числа дефектов, %	18,3	23,7	+29,51
Прогнозируемое снижение экономических потерь, тыс. руб.	74,16	98,43	+32,72
Число дефектов с критической значимостью ($S \geq 8$) после коррекции, ед.	89	54	-39,33
Средний модифицированный RPN после коррекции	4,38	3,71	-15,30
Доля обнаруживаемых дефектов, на заключительном контроле, %	31,4	22,8	-27,39

Особого внимания заслуживает показатель числа дефектов с критической значимостью ($S \geq 8$) после реализации корректирующих мероприятий. При модифицированном подходе количество таких дефектов снижается до 54 единиц, тогда как при классическом — лишь до 89 единиц, что составляет разницу в 39,33 %. Этот результат имеет принципиальное значение для обеспечения конкурентоспособности продукции, поскольку дефекты с высокой значимостью непосредственно влияют на удовлетворённость потребителя и формируют репутационные риски предприятия. Снижение доли дефектов, обнаруживаемых только на финишном контроле, с 31,4 % до 22,8 % свидетельствует о смещении точки выявления несоответствий на более ранние стадии производственного цикла, что является одним из ключевых индикаторов зрелости системы управления качеством.

Комплексный анализ данных исследования позволяет выявить ряд устойчивых закономерностей, имеющих значение для формирования методики риск-ориентированного управления. Корреляционный анализ между параметрами FMEA показал наличие слабой отрицательной связи между значимостью дефекта и его обнаруживаемостью ($r = -0,31$, $p < 0,05$), что означает: наиболее значимые дефекты имеют тенденцию к несколько лучшей обнаруживаемости по сравнению с менее значимыми. Этот результат, на первый взгляд контринтуитивный, объясняется тем, что критические дефекты (нарушение посадки изделия, разнооттеночность) являются визуально заметными и, как правило, фиксируются контролёрами на промежуточных этапах проверки. Однако связь между вероятностью возникновения и значимостью оказалась статистически незначимой ($r = 0,08$, $p = 0,43$), что указывает на

отсутствие закономерности «чем серьёзнее дефект, тем реже он встречается» и подтверждает необходимость систематического управления рисками вне зависимости от субъективных представлений о частоте критических несоответствий.

Дисперсионный анализ влияния стадии производства на модифицированный RPN показал статистически значимое различие средних значений между стадиями ($F = 4,73$, $p = 0,012$). Наивысшее среднее значение модифицированного RPN зафиксировано для дефектов входного контроля (5,87), что обусловлено сочетанием высокой значимости дефектов материалов и относительно затруднённой обнаруживаемости отдельных несоответствий, таких как скрытые дефекты ткани, проявляющиеся только в процессе эксплуатации [Иванова, Чонгарская, 2014]. Раскройное производство занимает второе место со средним модифицированным RPN 5,64, а швейный цех — третье (5,21), несмотря на наибольшее абсолютное число дефектов. Этот факт свидетельствует о том, что массовость дефектов швейного цеха компенсируется относительно хорошей обнаруживаемостью и умеренной значимостью значительной части из них, тогда как дефекты ранних стадий, будучи менее многочисленными, несут в себе более высокий интегральный риск.

Интеграция результатов FMEA-анализа с данными каузального анализа позволила сформировать матрицу приоритетности корректирующих воздействий, в которой направления улучшений ранжированы по критерию максимального снижения совокупного риска на единицу затраченных ресурсов. Наивысший приоритет получили мероприятия, связанные с совершенствованием входного контроля материалов — внедрение инструментальных методов оценки цветовых характеристик ткани (спектрофотометрия) и автоматизированного контроля линейных размеров [Маркелов, Иванов, Бондаренко, 2011]. Второй по приоритетности блок мероприятий направлен на снижение зависимости качества швейных операций от индивидуальной квалификации оператора посредством стандартизации приёмов работы и внедрения полуавтоматического оборудования для критических операций (втачивание рукава, обработка воротника). Третий блок охватывает оптимизацию параметров влажно-тепловой обработки на основе дифференцированных режимных карт для различных видов тканей.

Взвешенный агрегированный индекс риска для всего производственного процесса, рассчитанный как сумма произведений модифицированных RPN на частоту возникновения соответствующих дефектов, составил 7 284,6 условных единиц в исходном состоянии. Моделирование показывает, что реализация полного комплекса приоритизированных корректирующих мероприятий способна снизить этот индекс до 5 013,8 условных единиц, что соответствует сокращению интегрального риска на 31,2 %. При этом 68,4 % эффекта достигается за счёт первых двух приоритетных блоков мероприятий, потребляющих лишь 43,7 % совокупного бюджета на улучшения, что подтверждает правило Парето в применении к управлению рисками качества швейного производства и обосновывает целесообразность поэтапного внедрения корректирующих воздействий в порядке убывания модифицированного RPN.

Выводы

Разработанная методика риск-ориентированного управления качеством в швейном производстве основывается на модификации классического FMEA-анализа путём введения весовых коэффициентов для параметров значимости, вероятности возникновения и обнаруживаемости дефектов. Весовые коэффициенты, определённые методом попарных

сравнений Саати, отражают специфику швейной отрасли, в которой значимость последствий дефекта для потребителя имеет непропорционально высокий вес по сравнению с обнаруживаемостью, что обусловлено визуальным характером большинства контрольных операций и относительно высокой эффективностью визуального контроля. Использование взвешенного среднего геометрического вместо простого произведения трёх параметров позволяет устранить компенсаторный эффект, при котором высокое значение одного параметра может быть полностью нивелировано низкими значениями двух других, искажая реальную картину рисков.

Интеграция модифицированного FMEA с каузальным анализом дефектов обеспечивает двухуровневую систему управления качеством: первый уровень определяет приоритетность дефектов по критерию интегрального риска, а второй — выявляет корневые причины приоритетных дефектов и формирует направленные корректирующие воздействия. Такой подход позволяет перейти от реактивного управления качеством, основанного на выбраковке несоответствующей продукции, к проактивному, направленному на предотвращение дефектов через воздействие на их первопричины. Результаты моделирования показали, что модифицированный подход обеспечивает прирост эффективности корректирующих мероприятий на 29–33 % по сравнению с классической FMEA при одинаковом объёме затрат на улучшения, что представляет собой существенный экономический эффект для предприятий с ограниченным бюджетом на мероприятия по повышению качества.

Установленная в ходе исследования стадийная дифференциация причинных факторов дефектности имеет самостоятельное практическое значение для организации системы управления качеством на швейных предприятиях. Доминирование фактора «материалы» на стадии входного контроля, фактора «персонал» в швейном цехе и фактора «оборудование» на участке влажно-тепловой обработки определяет принципиально различные стратегии снижения дефектности для каждого производственного участка. На стадии входного контроля ключевым инструментом является совершенствование процедур приёмочного контроля и работа с поставщиками, в швейном цехе — стандартизация операций и программы повышения квалификации, а на участке ВТО — техническое обслуживание оборудования и разработка дифференцированных режимных карт.

Методика предполагает цикличность применения: после реализации корректирующих мероприятий проводится повторная оценка параметров FMEA, пересчитывается модифицированный RPN и определяются новые приоритеты. Такая итерационная процедура обеспечивает непрерывное снижение интегрального риска и соответствует принципу постоянного улучшения, заложенному в стандартах серии ISO 9000. Важным элементом методики является формирование базы знаний о дефектах, их причинах и эффективности применённых корректирующих мероприятий, что позволяет со временем повысить точность экспертных оценок и снизить субъективность параметров FMEA.

Практическое внедрение разработанной методики требует определённых организационных предпосылок: наличия системы регистрации и классификации дефектов, компетентной экспертной группы для проведения FMEA-анализа и механизма мониторинга эффективности корректирующих мероприятий. Эти требования, однако, не выходят за рамки стандартной инфраструктуры системы менеджмента качества и могут быть реализованы на предприятиях, уже имеющих сертифицированную СМК, без значительных дополнительных инвестиций. Для предприятий, находящихся на начальных этапах построения системы управления качеством, методика может выступать в роли структурирующего инструмента, задающего логику

приоритизации усилий по снижению дефектности и обеспечивающего рациональное распределение ограниченных ресурсов между конкурирующими направлениями улучшений.

Полученные результаты указывают на то, что наибольший эффект от внедрения методики следует ожидать на предприятиях среднего масштаба, выпускающих изделия сложного ассортимента (костюмная группа, верхняя одежда), где разнообразие технологических операций и высокие требования к качеству создают условия для максимальной отдачи от систематической работы с рисками. Для предприятий массового производства простого ассортимента (бельевая группа, спецодежда несложных конструкций) методика может быть упрощена за счёт сокращения перечня анализируемых дефектов и укрупнения стадий производственного цикла, при сохранении основного принципа — приоритизации корректирующих воздействий на основе модифицированного числа приоритетности риска с учётом весовых коэффициентов, отражающих отраслевую специфику.

Библиография

1. Афанасьев В.Б., Калинин Е.А., Мамаев В.А., Медведев В.М. Информационно-аналитические методы и средства управления качеством и надёжностью выпускаемой продукции // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 12. С. 66-71.
2. Заостровский А.А., Лёвкин И.В. Повышение качества изделий на основе расчёта априорного ранжирования по выявлению и устранению дефектов в одежде // Инновации и инвестиции. 2023. № 5. С. 170-173.
3. Иванова Н.Н., Чонгарская Л.М. Использование возможностей информационных технологий в системе управления качеством швейных изделий // Молодые ученые --- развитию текстильно-промышленного кластера (ПОЙСК). 2014. № 1. С. 98-99.
4. Корчунов А.Г. Совершенствование методики управления качеством продукции в технологических процессах метизного производства // Производство проката. 2008. № 12. С. 8-13.
5. Магдиева А.Д., Нессерио Т.Б. Анализ систем управления качеством с целью повышения эффективности швейного производства // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. 2016. № 1. С. 38-41.
6. Маркелов И.В., Иванов А.А., Бондаренко Н.В. Применение комплексной методики повышения качества производственного процесса (на примере ООО «БСХ») // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2011. Т. 2. № 7. С. 139-140.
7. Мартишкин В.В. Управление качеством технических изделий на стадиях проектирования // Известия МГТУ МАМИ. 2012. Т. 1. № 1 (13). С. 174-180.
8. Проскуряков В.В. Управление качеством на производстве // Роль науки в развитии общества. 2009. № 10. С. 47-53.
9. Свердина И.И. Метод управления качеством изделия // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2004. № 15. С. 318-322.
10. Тань Д. Производственный процесс управления качеством на промышленном предприятии // Качество науки -- качество жизни. 2013. № 2. С. 46-50.
11. Тихомиров Г.А. Методологические аспекты менеджмента качества на этапах швейного производства // Экономика и предпринимательство. 2021. № 3 (128). С. 1177-1180.
12. Чэнси Я. Модель зрелости инженерной инфраструктуры качества предприятия с учетом рискоориентированного подхода и требований международных стандартов // Вопросы природопользования. 2025. Т. 4. № 6. С. 80-88.
13. Шеромова И.А., Железняков А.С. Оценка качества швейных изделий с использованием автоматизированных методов контроля // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2016. Т. 8. № 4 (35). С. 211-219.
14. Шеромова И.А., Старкова Г.П., Железняков А.С. Моделирование и алгоритмизация процедуры подтверждения соответствия безопасности и качества швейных изделий // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2015. № 2 (356). С. 91-95.
15. Шеромова И.А., Старкова Г.П., Шкарина Т.Ю. Разработка компьютерной технологии оценки качества швейных изделий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11-3. С. 359-364.

Development of a Risk-Based Quality Management Methodology in Garment Manufacturing Based on FMEA and Defect Cause Analysis

Svetlana V. Plekhanova

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art),
115035, 52/1, Sadovnicheskaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: lisa-xumuk1@yandex.ru

Abstract

The article analyzes the specifics of risk-based quality management in garment manufacturing as a complex technological system characterized by high product variability, short product life cycles, and significant dependence on manual labor, which results in the dispersion of defect sources throughout the entire production chain and maximum costs at later stages. A modified methodology based on adapted FMEA analysis is proposed, providing for the introduction of weight coefficients for parameters of consequence severity (0.47), occurrence probability (0.33), and detectability (0.20), established using the Saaty pairwise comparison method, with risk priority calculated via the weighted geometric mean, which eliminates the compensatory effect of the classical RPN and ensures a more accurate reflection of industry reality, where the visual significance of defects to the consumer predominates. Analysis of the defect structure based on monitoring results reveals the dominance of the sewing department (45.58% of defects and 47.5% of total economic losses), the effect of economic amplification at the cutting stage (average cost of 412.65 rubles per defect), as well as changes in the ranking of critical non-conformities, among which the leaders are shade variation of parts (modified RPN 6.83), sleeve fit violation (6.71), and asymmetry of paired parts (6.47). Integration with causal analysis through Ishikawa diagrams and the Pareto principle establishes a clear stage-by-stage differentiation of causal factors: dominance of materials at incoming inspection (68.2%), personnel in the sewing department (38.9%), and equipment during wet-heat treatment (41.6%). Modeling of prioritized corrective actions confirms the superiority of the modified approach, providing a reduction in the total number of defects by 23.7% (vs. 18.3%), economic losses by 98.43 thousand rubles, the number of critical non-conformities ($S \geq 8$) by 39.33%, and the integral risk index by 31.2% with a comparable budget, with an emphasis on early detection and shifting control to initial stages. The developed iterative system facilitates the transition from reactive control to proactive defect prevention, rational resource allocation, continuous process improvement, and the formation of a knowledge base of cause-and-effect relationships, which is particularly significant for medium-sized enterprises producing a complex range of outerwear and suits. Such an abstract allows one to establish the main content of the scientific work, assess its relevance for improving quality management systems in the light industry, and make an informed decision about the need to refer to the full text in information, including automated, search systems.

For citation

Plekhanova S.V. (2026) Razrabotka metodiki risk orientirovannogo upravleniya kachestvom v shveynom proizvodstve na osnove FMEA i analiza prichin defektov [Development of a Risk-Based Quality Management Methodology in Garment Manufacturing Based on FMEA and Defect Cause Analysis]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 16 (3A), pp. 403-415. DOI: 10.34670/AR.2026.87.96.051

Keywords

Risk-based management, FMEA analysis, garment manufacturing, modified RPN, defect analysis, quality management, light industry.

References

1. Afanasyev, V. B., Kalinin, E. A., Mamaev, V. A., & Medvedev, V. M. (2023). Informatsionno-analiticheskiye metody i sredstva upravleniya kachestvom i nadezhnostyu vypuskayemoy produktsii [Information and analytical methods and means of quality and reliability management of manufactured products]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*, (12), 66-71.
2. Chenxi, Y. (2025). Model zrelosti inzhenernoy infrastruktury kachestva predpriyatiya s uchetom riskooriyentirovannogo podkhoda i trebovaniy mezhdunarodnykh standartov [Model of the Maturity of the Engineering Infrastructure of Enterprise Quality, Taking into Account the Risk-Oriented Approach and the Requirements of International Standards]. *Voprosy prirodopolzovaniya*, 4(6), 80-88.
3. Ivanova, N. N., & Chongarskaya, L. M. (2014). Ispolzovaniye vozmozhnostey informatsionnykh tekhnologiy v sisteme upravleniya kachestvom shveynykh izdeliy [Using the Opportunities of Information Technologies in the Quality Management System of Garment Products]. *Molodyye uchenyye --- razvitiyu tekstilno-promyshlennogo klastera (POISK)*, (1), 98-99.
4. Korchunov, A. G. (2008). Sovershenstvovaniye metodiki upravleniya kachestvom produktsii v tekhnologicheskikh protsessakh metiznogo proizvodstva [Improvement of the Methodology for Product Quality Management in Technological Processes of Metal Products Production]. *Proizvodstvo prokata*, (12), 8-13.
5. Magdieva, A. D., & Nessirio, T. B. (2016). Analiz sistem upravleniya kachestvom s tselyu povysheniya effektivnosti shveynogo proizvodstva [Analysis of Quality Management Systems in Order to Improve the Efficiency of Sewing Production]. *Vestnik molodykh uchenykh Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizayna*, (1), 38-41.
6. Markelov, I. V., Ivanov, A. A., & Bondarenko, N. V. (2011). Primeneniye kompleksnoy metodiki povysheniya kachestva proizvodstvennogo protsessa (na primere OOO «BSKH») [Application of an integrated methodology for improving the quality of the production process (on the example of BSH LLC)]. *Aktualnyye problemy aviatsii i kosmonavтики*, 2(7), 139-140.
7. Martishkin, V. V. (2012). Upravleniye kachestvom tekhnicheskikh izdeliy na stadiyakh proyektirovaniya [Quality management of technical products at the design stages]. *Izvestiya MGTU MAMI*, 1(13), 174-180.
8. Proskuryakov, V. V. (2009). Upravleniye kachestvom na proizvodstve [Quality Management in Production]. *Rol nauki v razvitiy obshchestva*, (10), 47-53.
9. Sheromova, I. A., & Zheleznyakov, A. S. (2016). Otsenka kachestva shveynykh izdeliy s ispolzovaniyem avtomatizirovannykh metodov kontrolya [Assessment of the Quality of Sewing Products Using Automated Control Methods]. *Territoriya novykh vozmozhnostey. Vestnik Vladivostokskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i servisa*, 8(35), 211-219.
10. Sheromova, I. A., Starkova, G. P., & Zheleznyakov, A. S. (2015). Modelirovaniye i algoritimizatsiya protsedury podtverzhdeniya sootvetstviya bezopasnosti i kachestva shveynykh izdeliy [Modeling and algorithmization of the procedure for confirming the safety and quality of garments]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti*, (356), 91-95.
11. Sheromova, I. A., Starkova, G. P., & Shkarina, T. Yu. (2014). Razrabotka kompyuternoy tekhnologii otsenki kachestva shveynykh izdeliy [Development of a computer technology for assessing the quality of garments]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy*, (11-3), 359-364.
12. Sverdlina, I. I. (2004). Metod upravleniya kachestvom izdeliya [Product Quality Management Method]. *Nauchno-tekhnicheskyy vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki*, (15), 318-322.
13. Tan, D. (2013). Proizvodstvennyy protsess upravleniya kachestvom na promyshlennom predpriyatii [The production process of quality management at an industrial enterprise]. *Kachestvo nauki --- kachestvo zhizni*, (2), 46-50.
14. Tikhomirov, G. A. (2021). Metodologicheskiye aspekty menedzhmenta kachestva na etapakh shveynogo proizvodstva [Methodological aspects of quality management at the stages of garment production]. *Ekonomika i predprinimatelstvo*, (128), 1177-1180.
15. Zaostrovsky, A. A., & Levkin, I. V. (2023). Povysheniye kachestva izdeliy na osnove rascheta apriornogo ranzhirovaniya po vyyavleniyu i ustraneniyu defektov v odezhde [Improving the quality of products based on the calculation of a priori ranking for identifying and eliminating defects in clothing]. *Innovatsii i investitsii*, (5), 170-173.