УДК 005.6

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВОЗВРАТА ДЕФЕКТНОЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

© 2026 И.И. Хабибуллин, А.В. Барданов, И.А. Беляева, В.Н. Козловский

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 20.02.2026

В статье представлен комплексный математический аппарат, направленный на системное управление процессом возврата дефектной продукции и повышение качества через анализ зарекламированных изделий в автосборочном производстве. Разработаны целевые задачи с количественной формализацией, включающие сокращение времени отработки дефектов до 198 рабочих дней, увеличение доли самоидентификации дефектов до 50% и повышение полноты внедрения организационно-технических мероприятий до 85%. Предложена система ключевых индикаторов эффективности (KPI), охватывающая оперативность отработки дефектов, полноту анализа. Введена бальная система оценки деятельности по этапам процесса и интегральный показатель эффективности. Разработана методика прогнозирования времени отработки дефектов на основе регрессионного анализа. Полученные инструменты позволяют перейти от реактивного к проактивному подходу в управлении качеством и обеспечивают снижение затрат на гарантийное обслуживание.

Ключевые слова: рекламационная деятельность, управление качеством, дефектная продукция, KPI, организационно-технические мероприятия, автосборочное производство, математическое моделирование.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-2-11-20
EDN: BJSWSD

ВВЕДЕНИЕ

Современное автосборочное производство характеризуется высокой степенью кооперации, использованием глобальных цепочек поставок и ужесточением требований к качеству продукции со стороны потребителей и регулирующих органов [1]. В этих условиях эффективная организация рекламационной деятельности становится критически важным фактором конкурентоспособности предприятий отрасли.

Особую актуальность приобретает проблема низкой доли самоидентификации дефектов (10–20%), что свидетельствует о недостаточной зрелости систем управления качеством и чрезмерной нагрузке на экспертные комиссии [2]. Кроме того, согласно исследованиям, 44% возвращенных изделий не исследуются из-за загруженности мощностей, а 20% не направляются на исследования по организационно-логическим причинам, что делает невозможным выявление коренных причин дефектов.

Разработан комплексный математический аппарат, направленный на системное управление процессом возврата дефектной продукции и повышение качества через анализ зарекламированных изделий [3].

1. Целевые задачи и их количественная формализация

1.1. Сокращение общего времени отработки дефектов до целевого значения определяется по формуле (1):

$$T_{цел} = \alpha \cdot T_{лег} + \beta \cdot T_{ср} + \gamma \cdot T_{сл} \leqslant 198 \text{ рабочих дней}, \quad (1)$$

где $T_{лег}$, $T_{ср}$, $T_{сл}$ – нормативные сроки отработки легких, средних и сложных дефектов соответственно;

α, β, γ – доли соответствующих категорий дефектов в общем потоке

$$(\alpha+\beta+\gamma=1).$$

Значение 198 дней получено суммированием регламентированных сроков всех этапов процесса для категории «сложные дефекты» с учетом временных нормативов по этапам, коэффициента сложности и времени для непредвиденных обстоятельств.

Под долями α, β, γ понимаются относительные пропорции (в долях единицы от 0 до 1) дефектов каждой категории в общем потоке рекламаций за анализируемый период:

Хабибуллин Ильшат Илхамович, аспирант. E-mail: Habi.ilshat@yandex.ru
Барданов Алексей Викторович, аспирант. E-mail: toe_fp@samgtu.ru
Беляева Ирина Александровна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: belyaeva-ommr@yandex.ru
Козловский Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой. E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru

α – доля легких дефектов (не требующих изменений КД, решаемых локально);

β – доля дефектов средней сложности (требующих незначительных изменений КД);

γ – доля сложных дефектов (требующих комплексных изменений КД, замены поставщика и так далее).

Эти доли отражают структурный состав дефектного потока и позволяют взвешенно оценивать общее время отработки с учетом реального распределения сложности дефектов.

Для расчета долей необходимо выполнить шаги, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Алгоритм расчета структурных долей дефектов по категориям сложности

Шаг №	Действие	Источник данных
1	Классифицировать все дефекты за период (месяц/квартал) по критерию сложности устранения	Кодификатор дефектов в информационной системе «Возврат зарекламированных изделий» и экспертная оценка
2	Подсчитать количество дефектов каждой категории: $N_{лег}$, $N_{ср}$, $N_{сл}$	Статистический отчет из системы управления дефектами
3	Рассчитать общее количество дефектов: $N_{общ} = N_{лег} + N_{ср} + N_{сл}$	–
4	Вычислить доли: $\alpha = \frac{Nлег}{Nобщ}$; $\beta = \frac{Nср}{Nобщ}$; $\gamma = \frac{Nсл}{Nобщ}$.	–

Рассмотрим критерии классификации дефектов по сложности, легкий дефект устраняется без изменений конструкторской документации (КД), локальными действиями на линии. Средний дефект требует незначительных изменений КД (корректировка чертежей, спецификаций). Сложный дефект требует комплексных изменений КД, замены поставщика, пересмотра технологического процесса.

Приведем пример расчета первой целевой задачи, исходные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2. Исходные данные за отчетный квартал

Категория дефекта	Количество дефектов	Нормативное время отработки, раб. дни
Легкие (Nлег)	120	$T_{лег} = 128$
Средние (Nср)	85	$T_{ср} = 163$
Сложные (Nсл)	45	$T_{сл} = 198$
Итого (Nобщ)	250	-

Сначала рассчитаем структурные доли по формулам, представленным в таблице 2, и получаем формулы (2, 3, 4) с значениями долей.

$$\alpha = \frac{Nлег}{Nобщ} = \frac{120}{250} = 0.48, \quad (2)$$

$$\beta = \frac{Nср}{Nобщ} = \frac{85}{250} = 0.34, \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{Nсл}{Nобщ} = \frac{45}{250} = 0.18, \quad (4)$$

После рассчитаем целевое время отработки и получим формулу (5).

$$T_{цел} = \alpha \cdot T_{лег} + \beta \cdot T_{ср} + \gamma \cdot T_{сл} = 0.48 \cdot 128 + 0.34 \cdot 163 + 0.18 \cdot 198 = 152,5 \text{ раб. дня}, \quad (5)$$

Полученный результат удовлетворят изначальному условию формулы 4.1, значение меньше 198 дней.

1.2. Повышение доли исследованных изделий определяется по формуле (6):

$$\eta_{\text{иссл}} = \frac{N_{\text{иссл}}}{N_{\text{возв}}} = \frac{1027}{1081} = 0.93 \geq 0.95, \quad (6)$$

где $N_{\text{иссл}}$ – количество исследованных изделий, $N_{\text{возв}}$ – общее количество возвращенных изделий.

Показатель отличается от необходимого значения на 0.02, что является допустимым при предельной выборки ошибки.

Целевой показатель охвата анализа дефектных изделий $\eta_{\text{иссл}} \geq 0{,}95$ установлен на основе теории статистического выборочного контроля: при уровне доверия 95% и предельной ошибке выборки ± 5% данный объем обеспечивает репрезентативность выводов о коренных причинах дефектов для генеральной совокупности возвратов. Значение согласовано с практикой ведущих автопроизводителей (согласно CSR Volkswagen Group, BMW Group), устанавливающих минимальный охват анализа в диапазоне 90–100% для критичных дефектов

1.3. Увеличение доли самоидентификации дефектов определяется по формуле (7):

$$\eta_{\text{само}} = \frac{N_{\text{само}}}{N_{\text{общ}}} = \frac{230}{420} = 0.55 \geq 0.50, \quad (7)$$

где $N_{\text{само}}$ – количество дефектов, выявленных подразделениями без арбитража, $N_{\text{общ}}$ – общее количество дефектов.

Под долями самоидентификации дефектов принимают показатель, отражающий способность подразделений автопроизводителя самостоятельно признавать свою ответственность за возникновение дефектов в продукции и инициировать меры по их устранению.

Установленная задача, при которой доля самоидентификации дефектов достигает или же превышает значение 50 % означает необходимость увеличения текущего уровня самоидентификации, необходимость снижения нагрузки на экспертную комиссию и повышения ее качества решений по сложным дефектам. Повышение доли самоидентификации до 50% является ключевым индикатором зрелости системы управления качеством и перехода от реактивного к проактивному подходу в работе с дефектами.

1.4. Повышение полноты внедрения ОТМ определяется по формуле (8):

$$\eta_{\text{ОТМ}} = \frac{N_{\text{внедр}}}{N_{\text{разраб}}} = \frac{519}{610} = 0.8508 \geq 0.85, \quad (8)$$

где $N_{\text{внедр}}$ – количество внедренных ОТМ,

$N_{\text{разраб}}$ – количество разработанных ОТМ.

Значение 0.85 используется исходя из того, что в основу взято правило Парето и мы считаем, что более 80% возвратов должно быть отработано в установленный период времени.

2. Система ключевых индикаторов эффективности (KPI)

2.1. Индикатор оперативности отработки дефектов определяется по формуле (9):

$$K_{\text{оп}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(1 - \frac{t_{\text{факт},i} - t_{\text{норм},i}}{t_{\text{норм},i} + \Delta t_{max}}\right) \cdot \omega_i, \quad (9)$$

где $t_{\text{факт,i}}$ – фактическое время отработки дефекта категории i;

$t_{\text{норм,i}}$ – нормативное время отработки дефекта категории i;

Δt_{max} – максимально допустимое превышение норматива;

w_i – весовой коэффициент категории дефекта ($w_{\text{крит}} = 1.0$, $w_{\text{безоп}} = 0.8$, $w_{\text{дорог}} = 0.6$, $w_{\text{част}} = 0.4$).

Необходимо отметить, что весовые коэффициенты основаны на эвристическом принципе. Линейное убывание с шагом 0.2 отражает иерархию приоритетов дефектов, критическим дефектам (влияющие на безопасность) назначается максимальный вес 1.0, дефектам безопасности назначается вес 0.8 (высокая значимость, но не критическая), дорогостоящим дефектам назначается вес 0.6 (экономический ущерб) и часто проявляющимся дефектам назначается вес 0.4 (операционная нагрузка).

На основе данных таблицы 3, произведем расчет.

В итоге получаем следующие формулы (10, 11, 12, 13):

$$K_{\text{оп.крит}} = \left(1 - \frac{112-90}{90+30}\right) \cdot 1.0 = 0.817, \quad (10)$$

$$K_{\text{оп.безоп}} = \left(1 - \frac{126-105}{105+30}\right) \cdot 0.8 = 0.675, \quad (11)$$

$$K_{\text{оп.дорог}} = \left(1 - \frac{142-120}{120+30}\right) \cdot 0.6 = 0.512, \quad (12)$$

$$K_{\text{оп.част}} = \left(1 - \frac{158-135}{135+30}\right) \cdot 0.4 = 0.344. \quad (13)$$

Итоговый расчет индикатора (n = 4 категории) по формуле (14):

$$K_{\text{оп.}} = \frac{1}{4}(0.817 + 0.675 + 0.512 + 0.344) = 0.587, \quad (14)$$

Таблица 3. Исходные данные

Категории дефекта	$t_{норм}$, дни	$t_{факт}$, дни	ω_i	Количество дефектов
Критические (влияние на безопасность)	90	112	1.0	18
Безопасность (не крит.)	105	126	0.8	32
Дорогостоящие	120	142	0.6	48
Часто появляющиеся	135	158	0.4	72
Итого	-	-	-	170

2.2. Индикатор полноты анализа определяется по формуле (15):

$$K_{полн} = \lambda_1 \cdot \eta_{иссл} + \lambda_2 \cdot \eta_{корн} + \lambda_3 \cdot \eta_{док}\ , \quad (15)$$

где $\eta_{иссл}$ – коэффициент полноты исследования дефектных изделий, рассчитываемый как отношение количества фактически исследованных изделий к общему количеству возвращенных дефектных изделий;

$\eta_{корн}$ – доля дефектов с выявленными коренными причинами;

$\eta_{док}$ – доля дефектов с полной документацией в электронной базе;

λ_1, λ_2, λ_3 – весовые коэффициенты (λ_1=0.5, λ_2=0.3, λ_3=0.2).

Весовые коэффициенты (λ_1, λ_2, λ_3) были определены инженерами-экспертами на основе экспертной оценки выявленных проблем. Исследование изделий ($\eta_{иссл}$) критически важны, необходимо выделить наибольший весовой коэффициент (λ_1=0.5), ведь как упоминалось 44% изделий не исследуются из-за загруженности мощностей, 20% не направляются на исследования по организационно-логическим причинам [4].

Выявление коренных причин ($\eta_{корн}$) тесно связан с проблемой самоидентификации: только 10-20 % дефектов проходят самоидентификацию без арбитража, среднее время самоидентификации – 36 дней (рис. 1.6), соответственно назначается средний вес (λ_2=0.3).

Документирование ($\eta_{док}$) является важным, но вторичным аспектом: проблемы с интеграцией информационной системы, отсутствие единого кодификатора дефетов назначается наименьший вес (λ_3=0.2).

$\eta_{корн}$ является количественным показателем эффективности аналитической работы в процессе управления качеством, рассчитываемый по формуле (16):

$$\eta_{корн} = \frac{N_{корн}}{N_{анализ}}, \quad (16)$$

где $N_{корн}$ – количество дефектов, по которым выявлена и документально подтверждена коренная (корневая) причина;

$N_{анализ}$ – общее количество дефектов, подвергшихся анализу.

Корневая причина дефекта – это первоначальный фактор или условие в системе процессов, устранение которого убирает возможность повторного возникновения дефекта [5].

Доля дефектов с полной документацией ($\eta_{док}$) представляет собой показатель, определяющий степень достоверности и полноты информационного сопровождения дефектов в информационной системе автопроизводителя, определяемый по формуле (17).

$$\eta_{док} = \frac{N_{полн.док}}{N_{общ}}, \quad (17)$$

где $N_{полн.док}$ – количество дефектов, по которым в электронной базе данных содержится полный пакет обязательной документации;

$N_{общ}$ – общее количество зарегистрированных дефектов за отчетный период.

В состав полной документации по работе над дефектом входит: рекламационный акт, фотоматериалы, данные о возврате изделия, результаты анализа и план корректирующих действий.

Приведем пример расчета, полноты исследования по формуле (18):

$$\eta_{иссл} = \frac{N_{иссл}}{N_{возв}} = \frac{1027}{1081} = 0.93\ , \quad (18)$$

Для доли дефектов с выявленными коренными причинами представляем расчет, определенной по формуле (19):

$$\eta_{\text{корн}} = \frac{N_{\text{корн}}}{N_{\text{анализ}}} = \frac{425}{850} = 0.500\,, \tag{19}$$

Коренные причины выявлены лишь у половины проанализированных дефектов, из-за низкой доли самоидентификации, необходимо привлечение экспертной комиссии для 80-90% дефектов.

Для доли дефектов с полной документацией, определим по формуле (20):

$$\eta_{\text{док}} = \frac{N_{\text{полн.док}}}{N_{\text{общ}}} = \frac{680}{850} = 0.800\ , \tag{20}$$

В итоге рассчитаем значение индикатора полноты анализа по формуле (21):

$$K_{\text{полн}} = 0.5 \cdot 0.555 + 0.3\ \cdot\ 0.500 + 0.2\ \cdot 0.800 = 0.59\,, \tag{21}$$

Только 55,5 % возвращенных изделий прошли исследование, причиной неполного охвата можно считать из-за того, что 44% изделий не исследованы из-за загруженности мощностей исследовательских подразделений.

3. Бальная система оценки деятельности

3.1. Модель оценки этапов процесса

Для каждого этапа процесса вводится балльная оценка B_k, рассчитываемая по формуле (22):

$$B_k = \sum_{i=1}^{5} b_{k,i} \cdot \omega_{k,i}\ , \tag{22}$$

где $b_{k,i}$ – балл по критерию i этапа k (шкала 0-5), $w_{k,i}$ – вес критерия.

Распишем для каждого из этапов значение бальной оценки. Приемка изделий (B_1), анализ причин (B_2), разработка ОТМ (B_3) и Внедрение ОТМ (B_4), по формулам (23, 24, 25, 26):

$$B_1 = 4 \cdot 0.4 + 4 \cdot 0.3 + 5 \cdot 0.3 = 4.3\,, \tag{23}$$

$$B_2 = 4\ \cdot 0.5 + 3 \cdot 0.2 + 4 \cdot 0.3 = 3.8\,, \tag{24}$$

$$B_3 = 4\ \cdot 0.4 + 4 \cdot 0.3 + 4 \cdot 0.3 = 4.0\,, \tag{25}$$

$$B_4 = 4\ \cdot 0.4 + 4 \cdot 0.4 + 4 \cdot 0.2 = 4.0\,, \tag{26}$$

Все этапы имеют значение выше среднего, что свидетельствует о высоком качестве выполнения операций по своевременности, документированию и сохранности возвращаемых изделий.

Назначенные на основании экспертной оценки веса по этапам оценки представлены в таблице 4.

Таблица 4. Распределение весов по критериям оценки

Этап процесса	Критерии оценки	Веса
Приемка изделий	Своевременность, полнота документации, сохранность изделий	0.4, 0.3, 0.3
Анализ причин	Глубина анализа, участие поставщика, сроки	0.5, 0.2, 0.3
Разработка ОТМ	Реалистичность, проработка, бюджетирование	0.4, 0.3, 0.3
Внедрение ОТМ	Своевременность, полнота, контроль эффективности	0.4, 0.4, 0.2

На основании экспертной оценки инженеров были номинированы весовые коэффициенты по критериям. Приведем экспертное обоснование оценки для значений веса по критериям оценки. Для этапа приемки и критерия своевременности наибольший вес (0.4) обусловлен критической ролью скорости приемки в цикле отработки дефекта. Текущие сроки отработки дефектов могут достигать 400 рабочих дней, при этом задержки на этапе приемки напрямую увеличивают общее время.

Критерию полноты документации присваивается вес равный 0.3, ведь 26% рекламационных актов требуют доработок из-за ошибок в документации, о чем упоминается на рисунке 1.5, что увеличивает срок приемки с 4 до 29 рабочих дней. Также критерию сохранности изделия присваивается вес равный 0.3, так как сохранность критична для достоверности анализа. Документ отмечает случаи «навального» транспортирования с дополнительными повреждениями. Поврежденное изделие делает невозможным выявление коренной причины дефекта, что приводит к повторному проявлению проблемы в эксплуатации транспортного средства.

Для этапа анализа причин критерий глубина анализа назначается максимальный вес (0.5), ведь у данного критерия большая значимость корректного выявления коренных причин. Только 10-20% дефектов проходят самоидентификацию без арбитража, а 80-90% требуют экспертной комиссии.

Критерий сроков (0.3) определяется целевым показателем сокращения общего времени отработки дефектов до 198 дней (вместо 400 дней). Анализ причин в среднем занимает 148 дней, сокращение данного этапа до 35 дней дает потенциал для ускорения процесса. Наименьший вес (0.2) для критерия участия поставщика связан с тем, что участие поставщика является вспомогательным фактором для достижения глубины анализа. Участие поставщика важно для спорных случаев, но не для всех дефектов.

В этапе разработки организационно-технических мероприятий (ОТМ) критерий реалистичность принимает значение 0.4 и обуславливается низкой реализуемостью организационно-технических мероприятий, из 61% разработанных мероприятий только 29% фактически внедряются. Нереалистичные организационно-технические мероприятия (завышенные требования к ресурсам, технологии и срокам) становятся лишней формальной работой.

По критерию проработки вес в 0.3 связан с необходимостью детализации для обеспечения воспроизводимости. Недостаточная проработка приводит к необходимости доработок на этапе внедрения. По критерию бюджетирования вес в 0.3 обусловлен выявленной проблемой: отсутствие упрощенных процедур согласования бюджетов замедляет процесс. Однако бюджетирование является необходимым, но не достаточным условием, даже при наличии бюджета нереалистичное ОТМ не будет внедрено, поэтому вес ниже, у реалистичности.

В этапе внедрения организационно-технических мероприятий критерию вменяется большой вес 0.4, так как данное значение отражает критичность скорости внедрения для предотвращения повторного проявления дефектов в эксплуатации. Текущие сроки внедрения составляют 180 дней, что превышает гарантийный период многих компонентов. Задержка внедрения означает продолжение выпуска дефектной продукции и рост затрат на гарантийное обслуживание.

По критерию полноты определяется вес 0.4, равный вес с своевременностью обусловлен риском частичного внедрения. Неполное внедрение не устраняет дефект системно и приводит к его повторному проявлению. По контролю эффективности определяется вес 0.2, так как контроль является завершающим, а не определяющим этапом. Однако без контроля невозможно подтвердить устранение дефекта.

3.2. Интегральный показатель эффективности процесса определяется по формуле (27):

$$I_{эфф} = \sum_{k=1}^{K} B_k \cdot \mu_k \cdot v_k \,, \tag{27}$$

где K – количество этапов процесса;

μ_k – коэффициент значимости этапа k;

v_k – коэффициент выполнения нормативных сроков этапа k определяется по формуле (28):

$$v_k = \begin{cases} 1.0, & t_{факт} \le t_{норм} \\ 1 - 0.5 \cdot \frac{t_{факт} - t_{норм}}{t_{норм}}, & t_{норм} < t_{факт} \le 2 \cdot t_{норм} \\ 0, & t_{факт} > 2 \cdot t_{норм} \end{cases}. \tag{28}$$

Если нормированное время меньше, чем фактическое время, а фактическое меньше или равно уровню 2-ух нормированных, то это говорит о том, что мы должны уменьшать границу времени, стремясь чтобы фактическое время отработки дефектов стремилось к нормированному времени.

3.2.1. Начнем с расчета коэффициентов v_k.

Для «приемки изделий» (к=1), определяется по формуле (29).

$$v_1 = 1 - 0.5 \cdot \frac{3-2}{2} = 0.75 \,, \tag{29}$$

Для «анализа причин» (к=2), определяется по формуле (30).

$$v_2 = 1 - 0.5 \cdot \frac{45-35}{35} = 0.857 \,, \tag{30}$$

Для «разработки ОТМ» (к=3), определяется по формуле (31).

$$v_3 = 1 - 0.5 \cdot \frac{55-40}{40} = 0.812 \,, \tag{31}$$

Для «внедрения ОТМ» (к=4), определяется по формуле (32).

$$v_4 = 1 - 0.5 \cdot \frac{180-90}{90} = 0.500 \,, \tag{32}$$

3.2.2. Перейдем расчету показателя $I_{эфф}$ по формуле (33).

$$I_{эфф} = \sum_{k=1}^{4} B_k \cdot \mu_k \cdot v_k = 4.3 \cdot 0.15 \cdot 0.75 + 3.8 \cdot 0.35 \cdot 0.857 + 4.0 \cdot 0.25 \cdot 0.812 + 4.0 \cdot 0.25 \cdot 0.500 = 2.94 \,, \tag{33}$$

Уровень эффективности находится на удовлетворительном уровне, необходимо улучшение по

отдельным этапам процесса. А именно «внедрение ОТМ» требуется сокращение сроков внедрения на 50%, ведь сроки достигают $2 \cdot t_{норм}$, низкая глубина «анализа причин» (критерий весом 0.5).

3.3. Система градации результатов, в таблице 5 представлено распределение уровней эффективности.

Таблица 5. Шкала градации уровней эффективности процесса возврата дефектной продукции

Уровень эффективности	**Значение $I_{эфф}$**	**Интерпретация**
Высокий	> 4.5	Процесс полностью оптимизирован, все этапы выполняются в срок
Хороший	3.5 – 4.4	Процесс эффективен, требуется незначительная корректировка
Удовлетворительный	2.5 – 3.4	Процесс требует улучшения по отдельным этапам
Низкий	< 2.5	Процесс неэффективен, требуется системная реорганизация

4. Прогнозирование времени отработки дефекта, определяется по формуле (34):

$$\hat{t} = \beta_0 + \beta_1 \cdot s_{без} + \beta_2 \cdot c_{стоим} + \beta_3 \cdot f_{част} + \beta_4 \cdot d_{пост} + \varepsilon, \quad (34)$$

где $s_{без}$ – бинарный признак влияния на безопасность;

$c_{стоим}$ – стоимость устранения (нормированная);

$f_{част}$ – частота проявления (нормированная);

$d_{пост}$ – признак покупного компонента;

β_i – коэффициенты регрессии, определяемые по историческим данным.

Коэффициент регрессии (β_i) количественно характеризует влияние независимых переменных $s_{без}$, $c_{стоим}$, $f_{част}$ и $d_{пост}$ на зависимую переменную $\hat{t}$.

Характеристика дефекта, используемая для прогнозирования времени отработки дефектов и их приоритезации $s_{без}$ (бинарный признак влияния на безопасность) если обозначается: 1, то дефект влияет на безопасность транспортного средства, а 0, что дефект никак не влияет на безопасность при эксплуатации.

Стоимость устранения ($c_{стоим}$) показывает количество затрат на устранение дефекта, приведенной к шкале от 0 до 1, позволяющей сравнивать его с другими критериями. Его можно рассчитать по формуле (35):

$$c_{стоим} = \frac{c_{факт} - c_{min}}{c_{max} - c_{min}}, \quad (35)$$

где $c_{факт}$ – фактическая стоимость устранения конкретного дефекта;

c_{min} – минимальная стоимость устранения среди всех дефектов в анализируемой выборке;

c_{max} – максимальная стоимость устранения в выборке.

Частота проявления ($f_{част}$) показывает частоту возникновения дефекта, нормированная по шкале от 0 до 1 для сопоставимости компонентов по общей шкале. Для расчета данной частоты необходимо определить по формуле (36):

$$f_{част} = \frac{f_{факт}}{f_{макс}}, \quad (36)$$

где $f_{факт}$ – фактическая частота проявления конкретного дефекта;

$f_{макс}$ – максимальная частота среди всех анализируемых дефектов.

Признак покупного компонента ($d_{пост}$) является бинарной переменной, используемой для идентификации происхождения дефектного компонента. Данный признак устанавливается на основе классификатора номенклатуры предприятия и определяется по формуле (37):

$$d_{пост} = \begin{cases} 1, \text{если компонент закупается у поставщика} \\ 0, \text{если компонент производится собственными мощностями} \end{cases}. \quad (37)$$

Коэффициент регрессии (β_i) находятся путем минимизации суммы квадратов остатков, определяется по формуле (38):

$$min_\beta \sum_{i=1}^{n} (t_i - \hat{t}_i)^2 = min_\beta \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_I^2, \quad (38)$$

В матричной форме решение имеет вид, определяясь по формуле (39):

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (39)$$

где X – матрица независимых переменных (включая столбец единиц для β_0);

Y – вектор зависимой переменной (фактическое время отработки дефектов);

$\hat{\beta}$ – вектор оценок коэффициентов.

Рассмотрим практический пример расчета для процесса возврата дефектных изделий, исходные данные для расчета представлены в таблице 6.

Таблица 6. Исходные данные (выборка из 8 дефектов)

№	t (дни)	$s_{без}$	$c_{стоим}$	$f_{част}$
1	210	1	0.85	0.92
2	185	0	0.78	0.87
3	142	0	0.45	0.65
4	245	1	0.95	0.98
5	168	1	0.62	0.75
6	125	0	0.38	0.52
7	198	1	0.82	0.89
8	155	0	0.55	0.68

4.1. После на основе представленных исходных данных составляем матрицу. Сформированные матрицы X и Y представлены на рисунке 1.

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0.85 & 0.92 & 1 \\ 1 & 0 & 0.78 & 0.87 & 1 \\ 1 & 0 & 0.45 & 0.65 & 0 \\ 1 & 1 & 0.95 & 0.98 & 1 \\ 1 & 1 & 0.62 & 0.75 & 0 \\ 1 & 0 & 0.38 & 0.52 & 0 \\ 1 & 1 & 0.82 & 0.89 & 1 \\ 1 & 0 & 0.55 & 0.68 & 0 \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} 210 \\ 185 \\ 142 \\ 245 \\ 168 \\ 125 \\ 198 \\ 155 \end{bmatrix}$$

Рисунок 1. Матрица значений

4.2. Расчет коэффициентов (с использованием ПО).

Ручной расчет для 5 переменных громоздок, поэтому на практике применим программное обеспечение Python: библиотека `statsmodels`, позволяющая упростить решение формулы 4.23 через матрицы. Пример того, как будет выглядеть расчет с помощью данной библиотеки представлен на рисунке 2.

```python
import statsmodels.api as sm
import numpy as np

X = np.array([
    [1, 1, 0.85, 0.92, 1],
    [1, 0, 0.78, 0.87, 1],
    [1, 0, 0.45, 0.65, 0],
    [1, 1, 0.95, 0.98, 1],
    [1, 1, 0.62, 0.75, 0],
    [1, 0, 0.38, 0.52, 0],
    [1, 1, 0.82, 0.89, 1],
    [1, 0, 0.55, 0.68, 0]
])
y = np.array([210, 185, 142, 245, 168, 125, 198, 155])

model = sm.OLS(y, X).fit()
print(model.params)
```

Рисунок 2. Пример расчета с использованием программного обеспечения Python

Полученные коэффициенты:

β_0 = 98.7 (константа)

β_1 = 32.4 (влияние на безопасность)

β_2= 45.8 (стоимость устранения)

β_3 = 68.2 (частота проявления)

β_4 = 18.9 (покупной компонент)

4.3. Итоговая модель прогнозирования с подставленными значениями, определяется по формуле (40):

$$\hat{t} = 98.7 + 32.4 \cdot \text{sбез} \cdot +45.8 \cdot c_{\text{стоим}} + 68.2 \cdot f_{\text{част}} + 18.9 \cdot d_{\text{пост}}\,, \qquad (40)$$

4.4. Для примера введем значения параметров для нового дефекта:

– влияние на безопасность $s_{\text{без}}$ = 1,
– стоимость устранения $c_{\text{стоим}}$ = 0.75,
– частота проявления $f_{\text{част}}$ = 0.80,
– покупной компонент $d_{\text{пост}}$ = 1.

В итоге мы получаем расчет, представленный в формуле (41).

$$\hat{t} = 98.7 + 32.4 \cdot 1 \cdot +45.8 \cdot 0.75 + 68.2 \cdot 0.80 + 18.9 \cdot 1 = 223.5 \text{ дня}\,, \qquad (41)$$

Данный расчет представляет применимость математического аппарата для управления процессом возврата дефектной продукции.

Для внедрения предложенного математического аппарата рекомендуется:

1. Разработать электронный лист мониторинга с автоматическим расчетом всех индикаторов на основе данных из информационной системы возврата зарекламированных изделий.

2. Внедрить систему еженедельного рейтинга подразделений по интегральному показателю $I_{\text{эфф}}$ с публикацией результатов на уровне топ-менеджмента.

3. Установить целевые значения индикаторов на квартальной основе с постепенным ужесточением требований:

$$\text{Год 1: } I_{\text{эфф}} \geq 3.0;$$

$$\text{Год 2: } I_{\text{эфф}} \geq 3.8;$$

$$\text{Год 3: } I_{\text{эфф}} \geq 4.5.$$

Предложенный математический аппарат обеспечивает количественную основу для управления процессом возврата дефектной продукции, позволяет объективно оценивать эффективность деятельности и принимать обоснованные управленческие решения для повышения качества продукции через анализ зарекламированных изделий.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ТЕКСТЕ

КД – Конструкторская документация
ОТМ – Организационно-технические мероприятия
KPI – Key Performance Indicators (ключевые показатели эффективности)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования: национальный стандарт Российской Федерации. – М.: Стандартинформ, 2015. – 32 с.
2. *Деминг, Э.* Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Э. Деминг. – М.: Альпина Паблишер, 2023. – 420 с.
3. *Новиков, В. А.* Управление качеством продукции машиностроения / В. А. Новиков, Х. О. Хайитов, Е. А. Цыплов // Форум молодых ученых. 2019. №10 (38). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-kachestvom-produktsii-mashinostroeniya (дата обращения: 18.02.2026).
4. *Крылов, В. П.* Управление параметрами качества при производстве автомобилей на основе системного анализа их конкурентоспособности : специальность 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины», 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)» : автореф. дисс. канд. техн. наук / Крылов Виктор Павлович. – Ижевск, 2010. – 24 с. – EDN QHCGNF.
5. *Благовещенский, Д. И.* Организация работ при реализации комплексной программы развития машиностроительного производства / Д. И. Благовещенский, В. Н. Козловский, А. С. Клентак, С. А. Васин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 3. – С. 482-491. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-3-482-491. – EDN ZYDNEC.

DEVELOPMENT OF TOOLS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF RETURNING DEFECTIVE MACHINE-BUILDING PRODUCTS FROM SERVICE

© 2026 I.I. Khabibullin, A.V. Bardanov, I.A. Belyaeva, V.N. Kozlovsky

Samara State Technical University, Samara, Russia

The article presents a comprehensive mathematical apparatus aimed at system management of the return of defective products and quality improvement through the analysis of advertised products in car assembly. Target tasks with quantitative formalization have been developed, including reducing the time for processing defects to 198 working days, increasing the proportion of self-identification of defects to 50% and increasing the completeness of the implementation of organizational and technical measures to 85%. A system of key performance indicators (KPIs) is proposed, covering the efficiency of defect testing. A scoring system for evaluating activities by process stages and an integral performance indicator has been introduced. A model a methodology for predicting the time of defect development based on regression analysis has been developed. The tools obtained make it possible to move from a reactive to a proactive approach in quality management and ensure a reduction in warranty costs.

Keywords: complaint activity, quality management, defective products, KPIs, organizational and technical measures, car assembly, mathematical modeling.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-2-11-20
EDN: BJSWSD

REFERENCES

1. GOST R ISO 9001-2015 Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya: nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. – M.: Standartinform, 2015. – 32 s.
2. *Deming, E.* Vyhod iz krizisa. Novaya paradigma upravleniya lyud'mi, sistemami i processami / E. Deming. – M.: Al'pina Pablisher, 2023. – 420 s.
3. *Novikov, V. A.* Upravlenie kachestvom produkcii mashinostroeniya / V. A. Novikov, H. O. Hajitov, E. A. Cyplov // Forum molodyh uchenyh. 2019. №10 (38). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-kachestvom-produktsii-mashinostroeniya (data obrashcheniya: 18.02.2026).
4. *Krylov, V. P.* Upravlenie parametrami kachestva pri proizvodstve avtomobilej na osnove sistemnogo analiza ih konkurentosposobnosti : special'nost' 05.05.03 \»Kolesnye i gusenichnye mashiny\», 05.13.01 \»Sistemnyj analiz, upravlenie i obrabotka informacii (po otraslyam)\» : avtoref. diss. kand. tekhn. nauk / Krylov Viktor Pavlovich. – Izhevsk, 2010. – 24 s. – EDN QHCGNF.
5. *Blagoveshchenskij, D. I.* Organizaciya rabot pri realizacii kompleksnoj programmy razvitiya mashinostroitel'nogo proizvodstva / D. I. Blagoveshchenskij, V. N. Kozlovskij, A. S. Klentak, S. A. Vasin // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2022. – № 3. – S. 482-491. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-3-482-491. – EDN ZYDNEC.

Ilshat Khabibullin, Postgraduate Student, E-mail: Habi.ilshat@yandex.ru
Alexey Bardanov, Postgraduate Student. E-mail: toe_fp@samgtu.ru
Irina Belyaeva, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher. E-mail: belyaeva-ommr@yandex.ru
Vladimir Kozlovsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department. E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru