

Для цитирования

Хаймович И.Н., Матвеев И.С. Стандартизация и кастомизация в машиностроении: учет обратной связи для минимизации рисков / III Научно-практическая конференция «Стандартизация: траектория науки», Москва, 15 октября 2025 года // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 6(87). С. 480–485.

УДК 621.002.5:658.58

**СТАНДАРТИЗАЦИЯ И КАСТОМИЗАЦИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ: УЧЕТ
ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ**

Хаймович И.Н., д-р техн. наук, профессор. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,

Матвеев И.С., аспирант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Россия, г. Санкт-Петербург

В условиях цифровой трансформации и массовой кастомизации машиностроительные предприятия сталкиваются с необходимостью интеграции требований заказчиков в систему менеджмента качества. В статье предложена информационно-экономическая модель учета обратной связи в рамках стандартов ISO и ГОСТ, обеспечивающая адаптацию производства к индивидуальным запросам без нарушения требований технического регулирования. Рассмотрены роль PLM, CRM, IoT и Big Data в формировании цифрового контура качества и концепция гибридных стандартов как основы гибкой кастомизации.

Ключевые слова: кастомизация, обратная связь, стандартизация, качество.

**STANDARDIZATION AND CUSTOMIZATION IN MECHANICAL ENGINEERING:
CONSIDERING CUSTOMER FEEDBACK TO MINIMIZE RISKS**

Khaimovich I. N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev

Matveev I. S., Postgraduate Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia, St. Petersburg

In the context of digital transformation and mass customization, manufacturing enterprises face the need to integrate customer requirements into their quality management systems. The article proposes an information-economic model for incorporating customer feedback within ISO and GOST standards, enabling production adaptation to individual demands without violating technical regulations. The roles of PLM, CRM, IoT, and Big Data in shaping a digital quality framework are examined, along with the concept of hybrid standards as a foundation for flexible customization.

Keywords: customization, feedback, standardization, quality.

В условиях четвертой промышленной революции машиностроение сталкивается с необходимостью удовлетворять растущие требования заказчиков к индивидуализации продукции [1]. Теперь конкурентоспособность предприятия определяется не только уровнем выпускаемой продукции, экономической составляющей, а также возможностью быстро адаптироваться под кастомизированные потребности конечного покупателя и уровнем развития процессов по интегрированию клиентской обратной связи в СМК. Проблема заключается в том, что массовая кастомизация противоречит традиционной модели технического регулирования, ориентированной на унификацию и стабильность параметров продукции. Требуется формирование новых подходов, при которых стандартизация выступает не как ограничение, а как инструмент гибкой настройки процессов под запросы заказчика.

Цель исследования – разработка информационно-экономической модели учета обратной связи заказчика в рамках стандартов ISO и ГОСТ для повышения эффективности кастомизации в машиностроении.

Стандарт ISO 9001:2015 предусматривает обязательное использование обратной связи потребителей для оценки результативности СМК. В п. 9.1.2 установлено требование о регулярном мониторинге удовлетворенности клиентов [2]. ГОСТ Р ИСО 9001–2015 идентичен ISO 9001:2015, что делает подход универсальным для российских предприятий. ISO 10002:2018 дополняет данный процесс, регламентируя методы обработки жалоб и предложений. Внедрение этих стандартов позволяет систематизировать работу с клиентскими данными. ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» и другие регламенты устанавливают обязательные требования безопасности [3]. Любая кастомизация допустима только в пределах, не нарушающих соответствие изделия установленным нормам. Подробное сравнение стандартов приведено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение стандартов качества в контексте кастомизации и учета обратной связи

Стандарт	Основной акцент	Учет обратной связи
ISO 9001	Управление качеством	Обязательный мониторинг удовлетворенности
ISO 10002	Управление жалобами	Регламентированный процесс обработки
ГОСТ Р ИСО 9001	Нац. аналог ISO 9001	Полное соответствие
ТР ТС 010/2011	Безопасность машин	Ограничивает кастомизацию

Стандартизация имеет прямое и критическое влияние на экономическую составляющую деятельность предприятия. В первую очередь благодаря стандартизации продукции появляется возможность существенно влиять на ее себестоимость. Как правило, снижение себестоимости может быть связано с эффектом масштаба, который оказывает свое влияние на предприятия, которые производят серийную продукцию. Помимо себестоимости, стандартизация оказывает влияние на процент брака и количество рекламаций – данные аспекты оказывают существенное влияние на юнит-экономику производимого изделия, а также влияет на LTV (lifetime value) – показатель, рост которого обеспечивает повышение выручки с одного клиента. Вместе с этим могут наблюдаться и другие эффекты – например, рост производительности труда или улучшение качества управления.

Существует большое количество способов сбора данных. Для учета обратной связи используется 2 вида исследований – качественные и количественные. Качественные исследования помогают формировать причинно-следственные связи: новые требования к продукту, гипотезы по изменению внутренних процессов и так далее. Качественные исследования включают в себя: фокус-группы, экспертные интервью и различные проекционные методы типа коридорных исследований. Количественные исследования в основном состоят из опросов и анкетирования. В первую очередь количественные исследования проводятся для подтверждения гипотез, а также проверки данных, которые можно измерить, например удовлетворенность (CSI), соответствие ожиданий и фактически полученного изделия, лояльность (NPS) и так далее. В зависимости от цели исследования определяется размер выборки. Например, можно опросить всех клиентов или только тех, которые являются крупными стратегическими партнерами. В результате процесса сбора и обработки данных итоги исследований необходимо преобразовать в конечные задачи для различных отделов. Перед внедрением изменений необходимо корректно сформировать

гипотезу: на какую именно метрику направлено изменение и при каких обстоятельствах данная метрика может быть оптимизирована. По результатам внедрения необходимо анализировать полученный результат – не всегда внедренные изменения оказывают благоприятное влияние на выбранные метрики. Для корректной фиксации поставленных задач необходимо пользоваться CRM системами. Для сбора оперативных данных, как правило, применяются технологии Internet of Things (IoT) [4]. Удовлетворенность конечного заказчика – важнейшая метрика для предприятий, которые производят кастомизированные продукты. Для объективной оценки удовлетворенности предлагается использовать интегральный показатель удовлетворенности (ИУП). Интегральный показатель удовлетворенности (ИУП) может рассчитываться как агрегированная величина: $ИУП = \sum(W_i * U_i)$, где W_i – весовой коэффициент значимости фактора, U_i – оценка удовлетворенности. Для машиностроительных изделий такими факторами могут быть: надежность, функциональность, сервис, удобство эксплуатации, стоимость владения и энергоэффективность. Модель адаптивна: при изменении приоритетов заказчиков веса факторов можно скорректировать. Это делает ИУП инструментом долгосрочного мониторинга и сравнения динамики удовлетворенности клиентов. Пример расчета интегрального показателя приведен в таблице 2.

Внедрение систем учета и анализа обратной связи требует дополнительных затрат, однако при грамотной организации они трансформируются в экономические выгоды. Для оценки целесообразности предлагается использовать показатель экономической эффективности: $Ээфф = (\Delta R - \Delta C) / \Delta C$, где ΔR – прирост дохода от повторных заказов, ΔC – затраты на систему учета обратной связи. Экономический эффект проявляется через снижение издержек на возвраты, рост повторных заказов, ускорение вывода новых моделей на рынок и сокращение цикла НИОКР.

Системы управления жизненным циклом изделия (PLM) и управления инженерными данными (PDM) сегодня являются базовыми инструментами для машиностроительных предприятий, реализующих стратегию массовой кастомизации. Они обеспечивают хранение, согласование и контроль всех данных, связанных с проектированием, производством и эксплуатацией изделий. Основное преимущество PLM заключается в том, что требования заказчика фиксируются в цифровом виде на самых ранних стадиях – при формировании технического задания. Эти требования затем сопровождаются на всех этапах жизненного цикла изделия – от проектирования до сервисного обслуживания. Такой подход обеспечивает сквозную трассируемость требований и позволяет доказательно подтвердить их выполнение при сертификационных и аудиторских проверках в соответствии с требованиями ISO 9001 и ГОСТ Р ИСО 9001. Кроме того, PLM-платформы (например, Siemens Teamcenter, Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE, PTC Windchill) позволяют связывать клиентские требования с конкретными элементами конструкции и технологическими процессами. Это делает возможным гибкое внесение изменений в дизайн изделия при сохранении соответствия нормативным требованиям и документации. Интеграция PLM с ERP- и MES-системами формирует единую цифровую среду предприятия, где управленческие, инженерные и производственные данные синхронизированы. Таким образом, PLM становится не только инструментом документирования, но и интеграционным ядром системы менеджмента качества, что напрямую соответствует положениям ISO 9001 о необходимости управления изменениями, ресурсами и знаниями организации. Использование PLM также позволяет вести учет версий изделия при кастомизации. Это важно для предприятий, выпускающих индивидуальные модификации машин, поскольку каждая версия должна иметь доказуемое соответствие техническим регламентам (например, ТР ТС 010/2011). В перспективе PLM-технологии становятся основой для внедрения сквозных цифровых потоков данных (digital thread), обеспечивающих прозрачность и воспроизводимость всех этапов – от запроса клиента до эксплуатации оборудования.

Современные системы управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) играют ключевую роль в формировании обратной связи, являющейся обязательным элементом системы менеджмента качества по ISO 9001. Они обеспечивают не только регистрацию

обращений клиентов, но и анализ поведения, предпочтений и истории взаимодействий. При интеграции CRM с аналитическими платформами Big Data предприятие получает возможность выявлять скрытые закономерности в поведении заказчиков, сегментировать их по типу требований и предсказывать будущие потребности. Для машиностроительных компаний это особенно важно, так как каждый заказ может иметь уникальные требования к конфигурации, комплектации или условиям эксплуатации техники. Применение методов машинного обучения (machine learning) и анализа больших данных позволяет создавать модели прогнозирования спроса и разрабатывать новые продуктовые предложения еще до появления явного запроса от клиента. Например, анализ эксплуатационных параметров по IoT-датчикам (в разделе 4.3) может выявить типичные узлы, требующие модификации, – и CRM автоматически предложит обновленную конфигурацию заказчику. Информационные системы CRM также выполняют функцию цифрового канала обратной связи, где поступающие жалобы и предложения интегрируются с PLM и ERP. Таким образом, комментарии заказчиков могут инициировать изменения в конструкции изделий или в процессах обслуживания, формируя замкнутый контур улучшений. Для эффективной интеграции Big Data и CRM необходимы большие массивы разнородных данных – эксплуатационные, маркетинговые, технические. Поэтому предприятиям машиностроения важно развивать централизованные хранилища данных (Data Lake) и стандартизировать форматы обмена информацией, что напрямую связано с информационно-экономическими аспектами стандартизации.

Интернет вещей (IoT) и технологии цифровых двойников (Digital Twin) играют фундаментальную роль в интеграции обратной связи заказчика с системой технического регулирования. Установка IoT-сенсоров на машины и оборудование позволяет в реальном времени собирать данные о параметрах эксплуатации – нагрузках, температуре, вибрациях, частоте обслуживания и др. Эти данные становятся источником объективной информации о том, насколько изделие соответствует заявленным характеристикам и требованиям стандартов. Использование цифровых двойников позволяет моделировать поведение изделия под воздействием различных факторов и проводить виртуальные испытания до начала физического производства. Это не только снижает затраты на разработку и сертификацию, но и обеспечивает документальное подтверждение соответствия продукции требованиям ТР ТС и ISO. [5] Особую ценность цифровые двойники представляют для модульных изделий, где каждая конфигурация создается под конкретного заказчика. Проверка соответствия каждого модуля стандартам безопасности (например, в рамках ТР ТС 010/2011) может быть автоматизирована в цифровой среде. Кроме того, совмещение данных IoT и PLM-платформ позволяет реализовать концепцию обратной связи в реальном времени: фактические эксплуатационные данные возвращаются в цифровую модель, корректируя параметры проектирования и сервисного обслуживания. Это превращает систему управления качеством в динамический, самообучающийся механизм, что соответствует духу современных стандартов ISO серии 9000, ориентированных на непрерывное совершенствование. Таким образом, использование IoT и цифровых двойников способствует формированию сквозной цифровой экосистемы, обеспечивающей соответствие продукции требованиям технического регулирования, рост удовлетворенности заказчиков и повышение экономической эффективности кастомизации.

Результаты проведенного анализа показывают, что современные подходы к стандартизации в машиностроении должны учитывать трансформацию производственных систем под влиянием цифровизации и кастомизации. Интеграция требований заказчиков в систему стандартов позволяет не только повысить удовлетворенность клиентов, но и оптимизировать внутренние процессы предприятия. В рамках стандартов ISO 9001 и ГОСТ Р ИСО 9001 предлагается формализовать учет обратной связи заказчиков не только как источник информации для улучшения, но и как обязательный управляемый процесс, обеспечивающий стратегическую адаптацию предприятия к требованиям рынка и предотвращения различного рода рисков. Для этого необходимо включить в процедуры

менеджмента качества отдельные показатели – долю обработанных отзывов, индекс удовлетворенности, среднее время реакции на запрос клиента и др. Такой подход позволит использовать стандарты не формально, а как инструмент постоянного взаимодействия с рынком.

Анализ показал, что текущие ТР ТС, включая ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования», в основном ориентированы на серийное производство и не учитывают особенности кастомизации. Введение в регламенты норм модульности позволит сертифицировать отдельные узлы и блоки изделий, а не всю систему целиком, что значительно ускорит вывод кастомизированных решений на рынок при сохранении безопасности и качества.

Расчеты, проведенные по предложенной модели, показывают, что внедрение систем обратной связи ведет к снижению совокупных издержек за счет сокращения рекламаций и повторных переделок, а также к увеличению доли повторных заказов. В табл. 2 приведен пример интегральной оценки удовлетворенности, демонстрирующий, что даже небольшое улучшение по ключевым факторам может привести к существенному росту экономического результата.

Таблица 2

Интегральная оценка удовлетворенности

Фактор	Важность W_i	Удовлетворенность U_i	Вклад $W_i \cdot U_i$
Надежность	0,30	8,0	2,40
Функциональность	0,25	7,5	1,88
Цена	0,20	7,0	1,40
Сервис	0,15	7,8	1,17
Внешний вид	0,10	6,5	0,65
ИУП	–	–	7,50

Результаты анализа подтверждают, что PLM, CRM, IoT и Big Data не являются просто инструментами автоматизации, а выполняют функцию цифровой инфраструктуры, связывающей процессы стандартизации, кастомизации и управления качеством. Использование этих технологий обеспечивает прозрачность и документированность процессов, что особенно важно при аудите соответствия стандартам ISO и требованиям ТР ТС.

Предлагается формирование новой категории «гибридных стандартов» – документов, сочетающих обязательные требования безопасности и качества с адаптивными модулями, отражающими особенности индивидуальных заказов. Такие стандарты могут быть построены на принципах модульного описания требований и цифровой сертификации, где каждая конфигурация изделия проходит автоматизированную проверку в виртуальной среде. Данные, представленные в табл. 1 и 2, подтверждают актуальность предложенных решений и необходимость перехода к более гибкой нормативной модели, ориентированной на цифровую экономику и персонализированные запросы потребителей.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило, что учет обратной связи заказчиков и кастомизация изделий в машиностроении не противоречат стандартам и техническим регламентам, а напротив, усиливают их значение при правильной интеграции в систему управления качеством. Разработанная концепция позволяет объединить требования международных и национальных стандартов (ISO 9001, ISO 10002, ГОСТ Р ИСО 9001) с практикой цифрового управления жизненным циклом продукции. Использование PLM, CRM, IoT и Big Data обеспечивает сквозную интеграцию данных и формирование цифрового следа каждого изделия, что существенно повышает прозрачность и управляемость процессов. Таким

образом, стандартизация перестает быть статичным инструментом контроля и становится динамичным элементом инновационного развития. В условиях цифровой трансформации и массовой кастомизации предприятия машиностроения могут использовать стандарты не только для обеспечения соответствия, но и как средство создания дополнительной ценности для клиента. Перспективным направлением дальнейших исследований являются разработка механизмов цифровой сертификации и внедрение гибридных стандартов, включающих адаптивные параметры, соответствующие требованиям индивидуализированного производства. Это позволит обеспечить баланс между безопасностью, качеством и гибкостью – тремя ключевыми критериями конкурентоспособности современного машиностроения.

Список литературы

1. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2011. – 288 с.
2. ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements. – ISO, 2015.
3. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования». – М.: ЕЭК, 2011.
4. Ураев Н.Н., Сафаргалиев М.Ф. Кастомизация цифрового менеджмента в сфере реализации продукции // Вестник Самарского университета. – 2018. – № 3. – С. 45–52.
5. Кармишина А.А., Гарина Е.П. Цифровая подготовка производства в машиностроении // Вестник машиностроения. – 2022. – № 7. – С. 23–30.
6. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартинформ, 2015. – 33 с.
7. ISO 10002:2018. Quality management – Customer satisfaction – Guidelines for complaints handling in organizations. – ISO, 2018.
8. Feitzinger E., Lee H. Mass Customization at Hewlett-Packard: The Power of Postponement // Harvard Business Review. – 1997. – Vol. 75, No. 1. – P. 116–121.
9. Pine B.J. Mass Customization. – Boston: Harvard Business School Press, 1993. – 352 p.
10. Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. – М.: Наука, 1976. – 384 с.

References

1. Hammer M., Champy J. Reengineering the Corporation. Moscow, Mann, Ivanov i Ferber Publ., 2011, 288 p.
2. ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements. ISO, 2015.
3. Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza TR TS 010/2011 “O bezopasnosti mashin i oborudovaniya” [Technical Regulation of the Customs Union TR CU 010/2011 “On the Safety of Machinery and Equipment”]. Moscow, EEK Publ., 2011.
4. Uraev N.N., Safargaliev M.F. Kastomizatsiya tsifrovogo menedzhmenta v sfere realizatsii produktsii [Customization of Digital Management in the Product Sales Sector]. Vestnik Samarskogo universiteta, 2018, no. 3, pp. 45–52.
5. Karmishina A.A., Garina E.P. Tsifrovaya podgotovka proizvodstva v mashinostroenii [Digital Production Preparation in Mechanical Engineering]. Vestnik mashinostroeniya, 2022, no. 7, pp. 23–30.
6. GOST R ISO 9001–2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya [Quality Management Systems – Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2015, 33 p.
7. ISO 10002:2018. Quality management – Customer satisfaction – Guidelines for complaints handling in organizations. ISO, 2018.
8. Feitzinger E., Lee H. Mass Customization at Hewlett-Packard: The Power of Postponement. Harvard Business Review, 1997, vol. 75, no. 1, pp. 116–121.
9. Pine B.J. Mass Customization. Boston, Harvard Business School Press, 1993, 352 p.
10. Germeier Yu.B. Igra s neprotivopolozhnymi interesami [Games with Non-Opposing Interests]. Moscow, Nauka Publ., 1976, 384 p.