УДК 658.5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА «ОБРАТНОГО» ПРОЕКТИРОВАНИЯ (РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА) СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

© 2026 Д.В. Антипов[1], И.С. Васин[2]

[1] Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, г. Самара, Россия
[2] ООО «КРОНЕ-Автоматика», г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 31.03.2026

В статье рассматривается процесс разработки конструкторской и технологической документации на средства измерения и контроля путем «обратного» проектирования (реверс-инжиниринга) и возникающие при этом риски. Потенциальные несоответствия при «обратном» проектировании обусловлены рядом факторов: отсутствием нормативной документации, исследовательских и экспериментальных данных, согласно которым определяются технические характеристики изделия, а также фактором технических отклонений при воспроизводстве изделия по прототипу, связанных с возможностями и технологиями производства, испытаний, расчетов. Снижение рисков предлагается путем разработки методики процесса «обратного» проектирования на средства измерения и контроля с применением эффективной методики анализа видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA), за счет чего предполагается получить экономический эффект по уменьшению потенциальных расходов на устранение несоответствий (внесение изменений) и минимизацию отклонений выходных данных проектирования техническим требованиям, установленным в техническом задании.

Ключевые слова: обратное проектирование, реверс-инжиниринг, конструкторская документация, технологическая документация средства измерения и контроля, риски, FMEA, DFMEA, PFMEA

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-2-70-75
EDN: FHHCZG

ВВЕДЕНИЕ

В настоящей статье под средствами измерения и контроля будем понимать измерительное оборудование, предназначенное для измерения и контроля параметров жидких, газовых и сыпучих веществ, в частности, их расхода и уровня.

Средства измерения и контроля играют важную и ответственную роль во многих отраслях промышленности: от пищевой до атомной. Они обеспечивают возможность контроля и регулирования технологических процессов, в том числе на опасных производственных объектах. С помощью средств измерения и контроля проводится диагностика, реализуется автоматизация производственных процессов. Они играют ключевую роль в обеспечении качества конечной продукции, а на опасных производственных объектах участвуют в процессе обеспечения безопасности персонала.

Для лучшего понимания специфики проектирования средств измерения и контроля рассмотрим их технические особенности на нескольких примерах. Принципы работы средств измерения и контроля основаны на различных физических законах.

Расходомеры. Различают ультразвуковые расходомеры (измеряют разницу во времени прохождения сигнала, генерируемого ультразвуковыми сенсорами), электромагнитные расходомеры (измеряют напряжение, индуцируемое в потоке воды магнитным полем), кориолисовые (массовые) расходомеры (измеряют деформацию измерительной трубы под действием потока, используя эффект Кориолиса), вихревые расходомеры (измеряют вихри, создаваемые потоком, для определения расхода), оптические расходомеры (используют свет для определения расхода, например, лазерные расходомеры), расходомеры переменного перепада давления (измеряют разницу давлений, создаваемых конструкцией расходомера в зависимости от расхода) и другие [1].

Уровнемеры. Различают поплавковые уровнемеры (используют чувствительный элемент, плавающий на поверхности жидкости), буйковые уровнемеры (измеряют выталкивающую силу, действующую на буек), емкостные уровнемеры (измеряют сопротивление между электродами в жидкости), ультразвуковые уровнемеры (измеряют время прохождения ультразвукового импульса от излучателя до поверхности жидкости и обратно), радарные уровнемеры (измеряют время распространения радиоволны от антенны уровнемера до поверхности продукта и обратно) и другие [2].

Антипов Дмитрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении. E-mail: antipov.dv@ssau.ru
Васин Илья Сергеевич, руководитель конструкторского отдела. E-mail: sevaergurk@yandex.ru

Для проектирования средств измерения и контроля необходимы соответствующие научная и материальная базы, позволяющие создавать подобные изделия от написания технического задания до постановки на производство. Это трудоемкий и затратный процесс, требующий продолжительного времени.

Поэтому при создании нового или совершенствовании имеющегося средства измерения и контроля часто применяется метод **«обратного» проектирования** или **реверс-инжиниринга**, позволяющий существенно **сэкономить время и средства на разработку**.

АНАЛИЗ НОРМАТИВНОГО ОБЕСПЕЧАНИЯ ПРОЦЕССА «ОБРАТНОГО» ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ВЫРАБОТКА ГИПОТЕЗЫ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССА

Анализ существующей нормативной базы стандартов показал, что на сегодняшний день отсутствует регламент, определяющий основные требования и этапы процесса обратного проектирования изделий. В настоящее время инженеры в своей деятельности пользуются ГОСТ 2.103-2013 «Единая система конструкторской документации. Стадии разработки» [3]. Однако этот стандарт не учитывает особенности обратного проектировании, а устанавливает общий подход к разработке нового изделия: стадии разработки конструкторской документации на изделия всех отраслей промышленности и этапы выполнения работ [3].

Определение термина «инжиниринг» устанавливается ГОСТ Р 57306: это инженерно-консультационная деятельность, содержанием которой является решение инженерных задач, связанных с созданием или совершенствованием продукции, систем и (или) процессов [4].

Определение термина «обратное проектирование» или реверс-инжиниринг в нормативных документах не устанавливается. В контексте аддитивных технологий согласно ГОСТ Р ИСО/АСТМ 52950-2022 под понятием «обратный инжиниринг» подразумевается реконструкция поверхности при оцифровке изделия [5]. Но это лишь частный случай общего процесса проектирования изделия и для проблематики настоящей статьи этого определения недостаточно.

В связи с вышеизложенным выделим следующие **проблемы процесса** «обратного» проектирования:

1.Отсутствие нормативной регламентированной основы процесса «обратного» проектирования с описанием его основных стадий и выходных данных, что влечет за собой риски получения непредсказуемых результатов (чертежей, параметров изделия и т.п.), так как каждый разработчик сам определяет условия и этапы проектирования.

2.Риски и сопутствующие им издержки, связанные с копированием технических решений без проведения собственных научных исследований, испытаний (или недостаточного их объема) и анализа связанных с этим видов и последствий потенциальных дефектов.

Таким образом, **научная проблема** заключается в том, что для процесса «обратного» проектирования средств измерения и контроля отсутствует типовая методика, учитывающая особенности и риски данного процесса.

Предложенная гипотеза заключается в том, что для процесса «обратного» проектирования средств измерения и контроля необходимо разработать методику, описывающую основные этапы процесса. В качестве основы берутся положения [3]. Повышение качества разрабатываемых технических объектов предлагается при помощи эффективного инструмента – метода анализа видов и последствий потенциальных дефектов (FMEA), направленный на предотвращение дефектов или снижение негативных последствий от них [6].

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – метод, целью которого является улучшение на основе анализа потенциальных несоответствий с количественным анализом последствий и причин несоответствий [7].

При этом проводят FMEA-анализ конструкции – DFMEA-анализ и технологического процесса – PFMEA-анализ.

DFMEA (Design Failure Mode and Effects Analysis) – метод, целью которого является улучшение конструкции на основе анализа потенциальных несоответствий конструкции с количественным анализом последствий и причин несоответствий [7].

PFMEA (Process Failure Mode and Effects Analysis) – метод, целью которого является улучшение технологического процесса на основе анализа потенциальных несоответствий технологий с количественным анализом последствий и причин несоответствий [7].

Реализация методики этапов процесса «обратного» проектирования средств измерения и контроля позволит реализовать **цель** по оптимизации процесса, снижению факторов риска возникновения потенциальных несоответствий и, как следствие, снижению затрат и издержек всего процесса «обратного» проектирования средств измерения и контроля.

Целевые показатели процесса:

1. Разработка конструкторской и технологической документации в установленный срок.
2. Количество несоответствий в выходных данных (конструкторской и технологической документации) требованиям, установленным в техническом задании.

На рис. 1 приведена схема наиболее характерных этапов и работ процесса «обратного» проектирования с учетом положений [3].

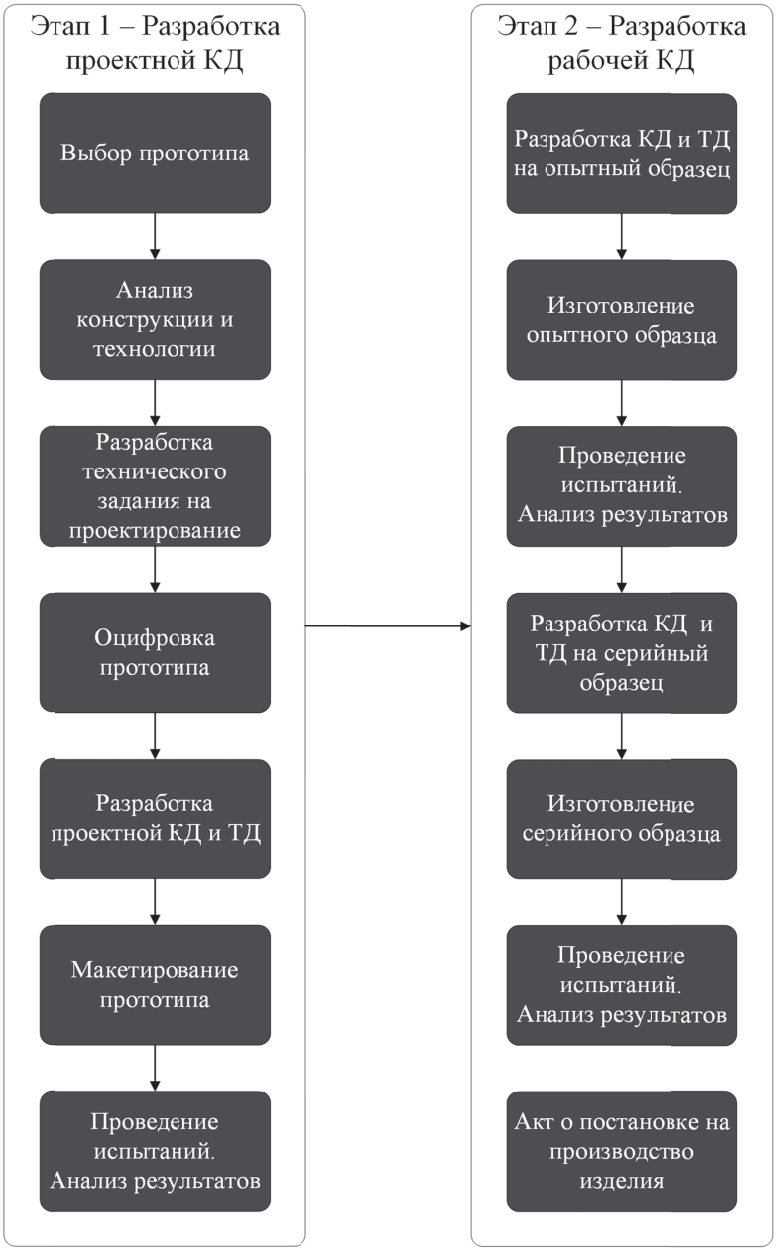

Рис. 1. Типовая схема «обратного» проектирования с учетом ГОСТ 2.103

В виду отсутствия нормативных документов на «обратное» проектирование разработка нового изделия на основе прототипа может выполняться с учетом стандарта Единой системы конструкторской документации ГОСТ 2.103, описывающего стадии разработки конструкторской документации на изделия всех отраслей промышленности и этапы выполнения работ [3].

Этап 1. В отличии от разработки нового изделия «с нуля», при которой сначала разрабатывается техническое задание с описанием основных требований к изделию, при «обратном» проектировании вначале выбирается прототип и проводится анализ его конструкции, технических характеристик и технологии производства. Затем разрабатывается техническое задание. После проводится оцифровка прототипа и разработка конструкторской (далее – КД) и технологической (далее – ТД) документации. Создается макет опытного образца и проводятся испытания. После анализа результатов испытаний принимается решение о необходимых корректировках конструкции и технологии и переходу ко 2 этапу – разработке рабочей КД и ТД.

Этап 2. Основная задача 2 этапа проектирования – разработка и отладка конструкции на опытных образцах и подготовка документации на серийные образцы изделия.

Дополнительные риски возникают на 1 этапе и могут транслироваться далее во второй этап проектирования. Риски связаны с выбором технических характеристик и конструктивных решений для воспроизведения. Эти данные на практике, зачастую, просто копируются без проведения экспериментов и расчетов в виду отсутствия технической возможности их провести и в целях ускорения и удешевления всего процесса проектирования. Как итог, эти решения переходят уже в рабочую КД и ТД и воплощаются в серийной продукции.

Приведем пример с разработкой электромагнитного расходомера. Одной из его особенностей конструкции является применения катушек, создающих электромагнитное поле для намагничивания рабочей среды. Катушки состоят из сотен витков медного провода определенного сечения. Для выбора параметров катушек (количество витков и сечения провода, формы катушки) необходимо проводить электромагнитный расчет. Процессу «обратного» проектировании всегда сопутствует поиск компромиссов в реализации технических решений из-за наличия ограничений у производства. Возможны отклонения в конструкции и параметрах катушек, способе их крепления, расположении на корпусе расходомера и т.д. Подобные изменения могут сказаться на параметрах расходомера и отразиться на его функционировании, что повышает риск возникновения потенциальных несоответствий выходных данных проектирования техническим требованиям, установленным в техническом задании.

НОВАЯ МЕТОДИКА ПРОЦЕССА «ОБРАТНОГО» ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В качестве решения описанных проблем процесса предлагается разработать методику процесса «обратного» проектирования с использованием эффективного метода FMEA. Схема новой методики приведена на рис. 2.

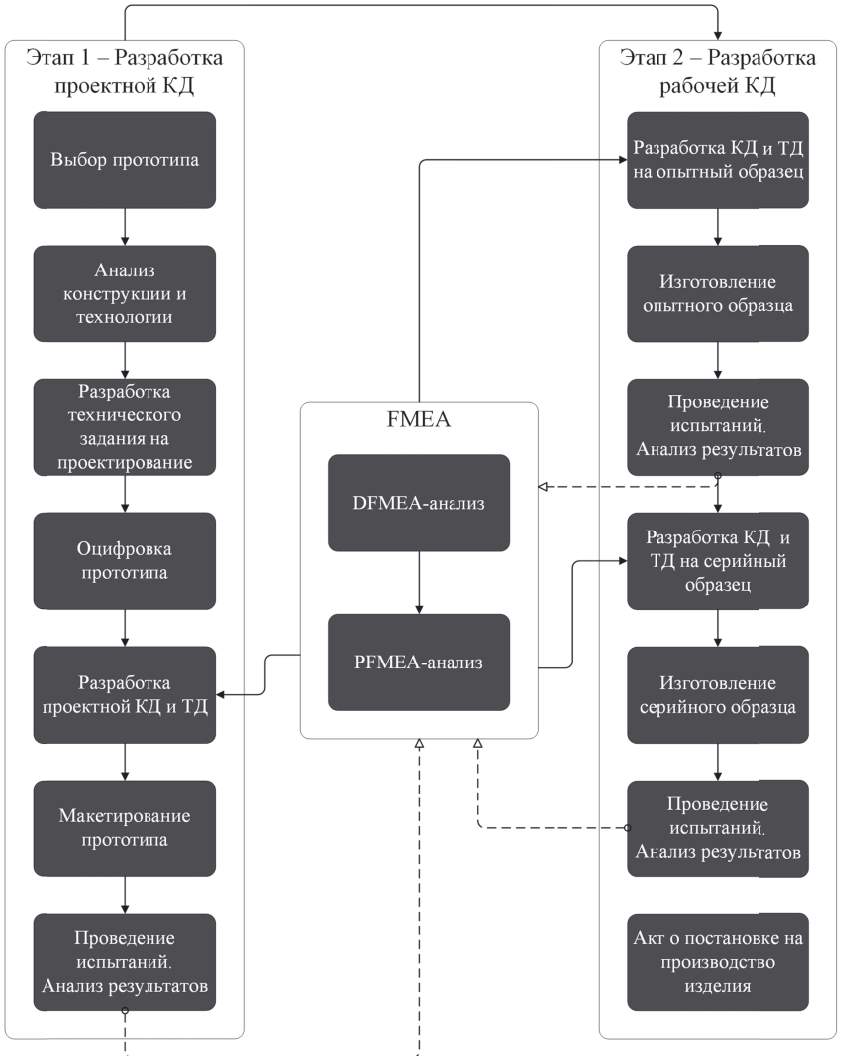

Рис. 2. Схема методики «обратного» проектирования с использованием FMEA-анализа

Согласно новой методике в процесс «обратного» проектирования предлагается добавить обязательный анализ видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA-методологию).

Анализ видов и последствий потенциальных несоответствий широко применяется многими мировыми компаниями как для разработки новых конструкций и технологий, так и для анализа и планирования качества производственных процессов и продукции. Методология FMEA позволяет оценить риски и возможный ущерб, вы-званный потенциальными несоответствиями конструкции и технологических процессов на самой ранней стадии проектирования и создания готового изделия или его комплектующих [7].

FMEA следует осуществлять либо до появления несоответствия, либо немедленно после выявления несоответствия или причин, приводящих к его появлению, чтобы не допустить последствий или максимально снизить их риск. Затраты на проведение анализа и внедрение корректирующих/предупреждающих действий при разработке процессов и подготовке производства значительно ниже, чем затраты на аналогичные действия в серийном производстве, проводимые по факту обнаружения несоответствий [7].

ВЫВОДЫ

Согласно новой схеме анализ видов и последствий потенциальных несоответствий конструкции (DFMEA) и технологии (PFMEA) начинает проводиться на самом раннем этапе проектирования еще при разработке проектных КД и ТД и далее – в процессе каждого этапа доработки КД и ТД вплоть до подготовки серийного образца изделия. Выходные данные каждого этапа испытаний изделия используются в FMEA-анализе.

Таким образом, новая схема методики процесса «обратного» проектирования позволит минимизировать потенциальные риски, связанные, как с воспроизведением технических характеристик прототипа «вслепую» (без собственных расчетов и испытаний), так и с возможными отклонениями в конструкции, вызванными техническим или технологическим компромиссом в целях экономии времени и средств на разработку. В свою очередь, это позволит минимизировать риск потенциальных несоответствий выходных данных проектирования техническим требованиям, установленным в техническом задании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-исследовательская работа выполнялась с целью изучения текущей ситуации с нормативным обеспечением процесса «обратного» проектирования, поиском ключевых проблем процесса, связанных с ними рисков и выработки предложений по оптимизации процесса «обратного» проектирования или реверс-инжиниринга при разработке нового изделия по прототипу на примере средств измерения и контроля.

Предложенная схема методики «обратного» проектирования может быть использована для разработки соответствующего нормативного документа (стандарта) в целях стандартизации и оптимизации процесса.

Ожидаемые экономические выгоды от внедрения предложенной методики:

1. Снижение количества вносимых изменений в стадии производства и затрат на проведение изменений – до 50%.

2. Снижение рисков возникновения ошибок в конструкции и связанных с ними дефектов, а, соответственно, затрат на их устранение – до 100%.

Настоящая статья ориентирована на конструкторские и технологические подразделения, занимающиеся оцифровкой прототипов и созданием на их основе новых изделий с воспроизведенными или модернизированными техническими параметрами. Результаты исследования могут быть полезны компаниям, занимающимся разработкой и производством средств измерения и контроля и другого промышленного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голощапов, С.С.* Приборы для измерения расхода: учебное пособие / С.С. Голощапов, М.В. Носиков. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2022. – 47 с.
2. *Агеев, А.Ю.* Приборы измерения и контроля уровня: Учебно-методическое пособие / А.Ю. Агеев, Л.Н. Лохтина; СТИ НИЯУ МИФИ. – Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2014. – 82 с.
3. ГОСТ 2.103-2013 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Стадии разработки». – М.: Стандартинформ, 2018. – 8 с.

4. ГОСТ Р 57306-2016 «Инжиниринг. Терминология и основные понятия в области инжиниринга». – М.: Стандартинформ, 2018. – 15 с.
5. ГОСТ Р ИСО/АСТМ 52950-2022 «Аддитивные технологии. Представление и обработка данных технологического процесса. Общие положения». – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – С. 2-4.
6. ГОСТ Р 51814.2-2001 «Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов». – М.: Стандартинформ, 2020. – С. 2-4.
7. *Дмитриев, А.Я.* Робастное проектирование и технологическая подготовка производства изделий авиационной техники: учеб. пособие / А.Я. Дмитриев, Ю.А. Вашуков, Т.А. Митрошкина. – Самара: Изд-во СГАУ, 2016. С. 40-65.

IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF "REVERSE" ENGINEERING (REVERSE ENGINEERING) OF MEASUREMENT AND CONTROL INSTRUMENTS

© 2026 D.V. Antipov[1], I.S. Vasin[2]

[1] Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara, Russia
[2] LLC "KROHNE-Avtomatika", Samara, Russia

The article considers the process of developing design and technological documentation for measurement and control instruments by means of "reverse" engineering (reverse engineering) and the risks that arise in this case. Potential discrepancies in the "reverse" engineering are caused by a number of factors: the lack of regulatory documentation, research and experimental data, according to which the technical characteristics of the product are determined, as well as the factor of technical deviations in the reproduction of the product according to the prototype, associated with the capabilities and technologies of production, testing, calculations. Risk reduction is proposed by developing a methodology for the process of "reverse" engineering for measuring and control instruments using an effective methodology for analyzing the types and consequences of potential discrepancies (FMEA), due to which it is expected to obtain an economic effect in reducing potential costs for eliminating discrepancies (making changes) and minimizing deviations of the output design data from the technical requirements established in the technical specifications.

*Keywords: r*everse engineering, reverse engineering, design documentation, technological documentation of measuring and control instruments, risks, FMEA, DFMEA, PFMEA

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-2-70-75
EDN: FHHCZG

REFERENCES

1. *Goloshchapov, S.S.* Flow measurement devices: a tutorial / S.S. Goloshchapov, M.V. Nosikov. - Chelyabinsk: Publishing center of SUSU, 2022. – 47 p.
2. *Ageev, A.Yu.* Level measuring and control devices: A tutorial / A.Yu. Ageev, L.N. Lokhtina; STI NRNU MEPhI. - Seversk: Publishing house of STI NRNU MEPhI, 2014. – 82 p.
3. GOST 2.103-2013 "Unified system of design documentation (ESKD). Development stages". – Moscow: Standartinform, 2018. – 8 p.
4. GOST R 57306-2016 "Engineering. Terminology and basic concepts in the field of engineering". – Moscow: Standartinform, 2018. – 15 p.
5. GOST R ISO/ASTM 52950-2022 "Additive technologies. Representation and processing of technological process data. General provisions". – Moscow: Russian Institute of Standardization, 2022. – pp. 2 – 4.
6. GOST R 51814.2-2001 "Quality systems in the automotive industry. Method for analyzing the types and consequences of potential defects". – Moscow: Standartinform, 2020. pp. 2 – 4.
7. *Dmitriev, A.Ya.* Robust design and technological preparation for the production of aviation products: textbook / A.Ya. Dmitriev, Yu.A. Vashukov, T.A. Mitroshkina. - Samara: Publishing house of SSAU, 2016. – pp. 40 – 65.

Dmitry Antipov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Aircraft Production and Quality Management in Mechanical Engineering. E-mail: antipov.dv@ssau.ru
Ilya Vasin, Head of the Design Department. E-mail: sevaergurk@yandex.ru