

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ НА ПРОИЗВОДСТВАХ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

QUALITY MANAGEMENT IN ELASTOMERIC MATERIALS PROCESSING PLANTS

Карташов К.В., соискатель, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (Казань, Россия)

Kartashov K.V., PhD candidate, Kazan National Research Technological University (Kazan, Russia)

Для проектирования и подготовки производства сложных конструкторских изделий требуются адекватные подходы в управлении качеством. Целью статьи является исследование проблем качества в процессе производства мембран из композитов, усиленных непрерывным углеродным волокном, и анализ основных причин, влияющих на процесс согласно рекомендациям APQP-процесса. Согласно плану APQP-процесса установлено, что выбор технологии коэкструзии, оборудования для пятиосевой трехмерной печати, сырья из углеродного волокна на этапе проектирования производства позволит минимизировать пористость изделий и повысить их физико-химические свойства. Разработана структурная модель анализа производства в APQP-процессе, где ключевыми факторами повышения качества мембран являются выбор технологии изготовления, оборудования для печати мембран и характеристик исходного сырья. Материалы статьи имеют практическое значение для выбора моделей организации производства и систем менеджмента качества на предприятиях машиностроения.

Ключевые слова: управление качеством, APQP-процесс, аддитивное производство, производство мембран, полимерные материалы.

Для цитирования: Карташов К.В. Управление качеством на производствах переработки эластомерных материалов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4 (91). С. 88–94.

Adequate quality management approaches are required for the design and pre-production of complex design products. The purpose of the article is to study the quality problems in the production of composite membranes reinforced with continuous carbon fiber and to analyze the main causes affecting the process according to the recommendations of the APQP process. According to the APQP process plan, it was found that the choice of co-extrusion technology, equipment for five-axis three-dimensional printing, and carbon fiber raw materials at the design stage of production will minimize the porosity of products and improve their physico-chemical properties. A structural model of production analysis in the APQP process has been developed, where the key factors for improving the quality of membranes are the choice of manufacturing technology, membrane printing equipment, and raw material characteristics. The materials of the article are of practical importance for the selection of production organization models and quality management systems at machine-building enterprises.

Keywords: quality management, APQP process, additive manufacturing, membrane manufacturing, polymer materials.

For citation: Kartashov K.V. Quality management in elastomeric materials processing plants. Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2026;4(91): 88–94. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Для производства сложных конструкторских изделий требуются адекватные подходы в управлении качеством. К продукции повышенной сложности относятся трехмерные изделия, изготовленные с помощью аддитивных методов, предполагающих послойное создание объектов, или с помощью субтрактивных методов, напротив, предполагающих удаление лишнего материала.

В технологической цепи производства промышленных клапанов ответственным этапом является изготовление высокопрочных мембран из композитов, усиленных непрерывным углеродным волокном. Прототипы мембран на этапе проектирования в серийном производстве или непосредственно в мелкосерийном производстве мембран осуществляются аддитивным методом с использованием 3D-принтера. Качество мембран и их эксплуатационные свойства формируются на этапе проектирования изделий.

Международный стандарт ИСО/ТУ 16949 и его российский аналог ГОСТ Р ИСО/ТУ 16949–2009 описывают требования к системам менеджмента качества предприятий, занимающихся проектированием, разработкой, производством, установкой и обслуживанием продукции. Стандарт направлен на постоянное улучшение, предотвращение дефектов, снижение вариаций и потерь в цепи поставок производства. Одним из инструментов управления качеством, описанных в стандарте, является перспективное планирование качества продукции (APQP), направленное на снижение числа ошибок и ускорение всего процесса подготовки производства [4]. Основные отличия APQP от традиционных систем подготовки производства, принятых на большинстве российских предприятий, заключаются в постоянной ориентации на требования и ожидания потребителей.

Процесс планирования, разработки, подготовки и осуществления производства (APQP-процесс) делится на этапы с четкими требованиями к входам и результатам на выходе

для каждого этапа. В цепи производства промышленных клапанов выходы с этапа изготовления мембран являются входом на этап сборки трубопроводной арматуры.

Целью статьи является исследование проблем качества в процессе производства мембран из композитов, усиленных непрерывным углеродным волокном, и анализ основных причин, влияющих на процесс согласно рекомендациям APQP-процесса.

ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

В процессе производства могут возникать различные проблемы, которые влияют на качество продукции. Конечным результатом этих проблем являются дефекты, недостатки или значительные отклонения от ожидаемого функционирования или внешнего вида конечного продукта. Таким образом, в более широком смысле проблемы в управлении качеством связаны не только с конечным продуктом, но и со всеми действиями, которые могут пойти не так еще до его производства, на стадии проектирования и тестирования [1].

Первая и основная проблема в управлении качеством резинотканевых мембран заключается в большой сложности проведения стандартного технологического процесса, что приводит к целому комплексу вытекающих последствий в системе управления качеством. Сложность процесса состоит в том, что стандартный производственный процесс по изготовлению мембран заключается в вулканизации сырой резины в заранее подготовленной форме; данная форма, в свою очередь, также имеет сложный технологический процесс изготовления и большую металлоемкость, а также очень высокую стоимость. При этом ввиду необходимости целого ряда технологических операций, таких как смешивание, каландрирование, формование, отверждение и постобработка, данный процесс имеет большое количество недостатков [2]:

- высокая металлоемкость применяемой оснастки;
- высокая стоимость изготовления оснастки;
- необходимость в целом ряде специалистов для ведения процесса;
- необходимость контактирования с вредными веществами, такими как, например, сажа, перекиси;
- невозможность проведения переработки материалов;
- небольшая скорость проведения процесса производства.

Вторая проблема вытекает из первой. Все эти недостатки приводят к тому, что изготовление небольшой партии мембран становится очень дорогим, при этом практически любое внесение изменений в геометрию мембран для их модернизации и более точной настройки в ходе тестирования и отладки нового оборудования становится невозможным. Все это снижает качество нового оборудования уже на этапе его проектирования,кратно увеличивает сто-

имость разработки нового продукта, а также сроки разработки, полноценного тестирования и отладки.

В свою очередь, третьей проблемой в управлении качеством является увеличение стоимости проектирования, отладки нового продукта, что приводит к тому, что в условиях ограниченного бюджета продукт выходит на рынок недостаточно качественный, требующий при этом доводки с большой задержкой. В условиях импортозамещения, оперативного проектирования и освоения выпуска большой линейки оборудования данные проблемы стоят особо остро и требуют решения [1].

Другой проблемой является то, что в системах производства полых формовых изделий (высокопрочных мембран для промышленных клапанов) отсутствуют отработанные механизмы прототипирования, проверки и тестирования проектных решений, дизайна, прототипов, макетов.

Данная концепция развивается также в методе Тагучи, который представляет собой подход к проектированию и подчеркивает роль исследований, разработок и прототипирования, а также проектирования и разработки продукции в снижении количества дефектов и отказов в производимых товарах [3].

Стоит отметить, что в таких производственных и исследовательских задачах, как создание прототипов, макетов, ин-

Источник: составлено автором

струментов и приспособлений, проверка дизайна и проектных решений, а также производство малосерийных деталей, помогает аддитивное производство. Как правило, аддитивное производство гораздо рентабельнее, чем традиционное субтрактивное производство. Для производителей аддитивное производство означает промышленное использование 3D-печати для совершенно разных задач.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА МЕМБРАН С ЦЕЛЮ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ И УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Увеличение стоимости проектирования, отладки нового продукта приводит к тому, что продукт выходит на рынок недостаточно качественный, требующий при этом доводки с большой задержкой. Все это говорит о том, что необходима комплексная система управления качеством на всех этапах жизненного цикла мембран. Хорошим инструментом в этом служит система APQP планирования качества продукции.

Аддитивное производство устраняет необходимость в инструментах, что ускоряет выход на рынок. Благодаря оптимизации каждого этапа цикла разработки продукта можно сократить общие сроки производства.

Таблица 1

FMEA анализ причин и последствий конструкции оборудования (составлено автором)

Этап процесса	Потенциальный дефект	Последствия дефекта	Причина дефекта	Рекомендуемые действия
Составление технического задания	Неправильно сформулированное ТЗ	Изготовление тестовых образцов по неверным параметрам, увеличение бюджета на разработку новой продукции, риск вывода на рынок некачественного оборудования	Инженерная ошибка	Контроль технического задания
Составление эскизного проекта	Составленный эскизный проект не будет учитывать составленного ТЗ	При последующей проработке приведет к полному изменению конфигурации оборудования и его компоновки	Конструкторская ошибка	Контроль КД
Составление первичного технического проекта	Составление сырого проекта, составление проекта, содержащего ошибки	Оборудование, содержащее дефекты	Конструкторская ошибка	Контроль КД
Изготовление опытного образца	Слишком долгое изготовление образца, упрощение опытного образца для простоты его единичного производства, изготовление неподходящего образца	Превышение бюджета, опытный образец не проходит испытания, требуется изготовление нового образца вместе с новой оснасткой, требуется выделение нового бюджета и закупка нового материала	Отсутствие отлаженной системы прототипирования и тестирования продукции	Внедрение аддитивных технологий для прототипирования
Изготовление необходимой оснастки для опытного образца (пресс-форм)	Изготовление оснастки с дефектом, изготовленная оснастка не подходит к существующему оборудованию	Превышение выделенного бюджета на изготовление оснастки	Отсутствие отлаженной системы прототипирования и тестирования продукции	Внедрение аддитивных технологий для прототипирования
Тестирование оборудования в сборе на качество выполнения его функций	Неполное тестирование	Упрощенный тестовый образец, вывод на рынок некачественного оборудования	Отсутствие отлаженной системы прототипирования и тестирования продукции	Внедрение аддитивных технологий для прототипирования
При необходимости внесение изменений в КД	Внесение изменений, которые не решают реальной причины проблемы либо которые добавляют новые дефекты оборудованию	Нужен новый тестовый образец, вывод на рынок некачественного оборудования	Отсутствие отлаженной системы прототипирования и тестирования продукции	Внедрение аддитивных технологий для прототипирования

Аддитивное производство позволяет реализовать процессы от проверки концепции до функциональных прототипов в кратчайшие сроки. Это позволяет экономить средства и время на протяжении всего цикла разработки продукта. Быстрое создание прототипов также все чаще осуществляется с помощью той же технологии 3D-печати, которая будет использоваться для конечного продукта [4].

Далее для более детального изучения бизнес-процесса разработки новой продукции ООО «САС Автоматика» проведен FMEA анализ причин и последствий конструкции оборудования, который поможет выявить и разработать пути реинжиниринга данного бизнес-процесса. Анализируя приведенную таблицу FMEA анализа, можно прийти к выводу, что в бизнес-процессе отсутствует отлаженная си-

Также технология может быть полезна в быстром получении оснастки. Инструменты, кондукторы, приспособления и другие традиционные производственные аксессуары можно быстро и легко напечатать на 3D-принтере. Аддитивное производство на предприятии может значительно ускорить процесс изготовления индивидуальных инструментов для любого производственного процесса. Более быстрое и менее затратное производство инструментов может привести к более быстрому и менее затратному производству в целом.

С помощью аддитивного производства производственные циклы можно значительно ускорить. Отсутствие необходимости в инструментах, сокращение трудозатрат и расходов, а также локализация производства обеспечивают более быстрый производственный процесс [1].

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЕФЕКТНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ОТ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Для построения модели воспользуемся следующими показателями деятельности ООО «САС Автоматика»:

- затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y);
- материальные затраты на оснастку НИОКР (X1);
- количество ревизий разрабатываемого продукта (X2);
- срок разработки продукции (X3);
- количество конструкторов, задействованных в проекте (X4).

Массив данных показателей отражен в таблице 2 с количеством наблюдений (n), равным 10.

Далее определим средние значения x и y. Среднее значение Y составляет 10231,59, X1 – 4301,04, X2 – 93,5, X3 – 270,7, X4 – 26,2. Данные значения необходимы для вычисления эластичности модели.

Рассмотрим основные показатели регрессионной модели. Строка «Стандартная ошибка» показывает вероятность статистической ошибки регрессии. Строка «Наблюдения» показывает число периодов выборки, в нашем случае число наблюдений равно 10.

Таким образом, все коэффициенты модели регрессии имеют положительную корреляционную связь. При увеличении зависимых переменных X зависимая Y будет увеличиваться. Иными словами, чем выше коэффициенты X1, X2, X3 и X4, тем выше затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y), так как коэффициенты регрессии имеют положительную корреляционную связь.

Далее составим уравнение регрессии. Уравнение будет иметь вид: $Y = -25,43 + 0,757x_1 + 5,391x_2 + 9,886x_3 + 145,673x_4$. Далее рассчитаем коэффициенты эластичности для построенной модели регрессии.

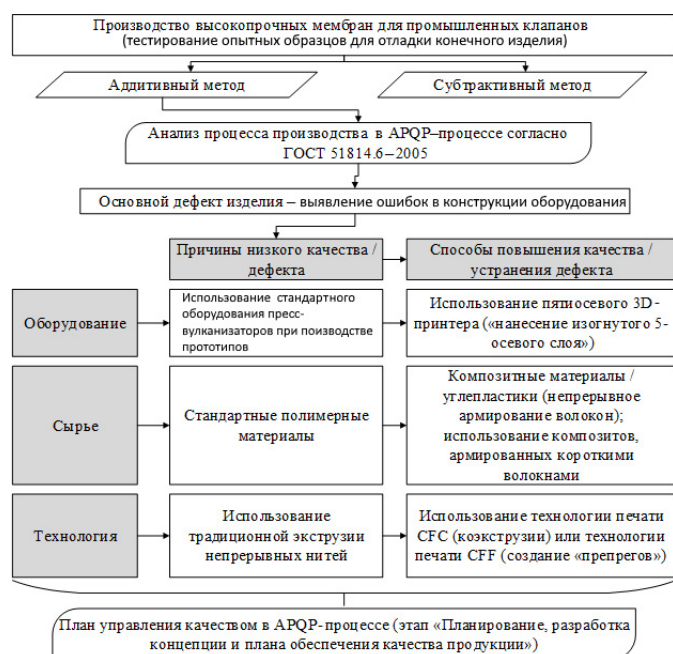


Рис. 1. Структурная модель анализа процесса производства в APQP-процессе (процессе перспективного планирования качества продукции) согласно ГОСТ 51814.6-2005 (составлено автором)

стема прототипирования и тестирования продукции, этапы производства прототипов неэффективны и требуют их исключения и замены.

Альтернативным процессом может стать внедрение аддитивных технологий для прототипирования и последующего тестирования продукции. Аддитивные технологии позволяют производить мембраны без использования пресс-форм и прочей оснастки. Мембраны с применением аддитивного метода производства можно производить на пятиосевой машине с применением технологии коэкструзии непрерывного армирующего волокна. Полученное таким образом изделие не уступает аналогичным мембранам, полученным в пресс-форме [5].

Таблица 2

**Первичные данные регрессионного анализа
ООО «САС Автоматика» (зависимые и факторные
показатели модели) (тыс. руб.)**

Год	Затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y)	Материальные затраты на оснастку НИОКР (X1)	Количество ревизий разрабатываемого продукта (X2)	Срок разработки продукции (X3)	Количество конструкторов, задействованных в проекте (X4)
2015	657,12	279,34	7	17	1
2016	3346,09	1491,69	37	83	8
2017	2547,54	1056,01	26	70	6
2018	2731,07	1215,96	30	78	7
2019	11371,81	4793,67	126	284	29
2020	10185,58	4096,13	102	299	25
2021	18349,07	7800,19	152	482	47
2022	4461,32	1949,53	49	127	11
2023	19937,50	8475,43	168	511	53
2024	28728,76	11852,45	238	756	75
Среднее	10231,59	4301,04	93,5	270,7	26,2

Таким образом, рассчитав коэффициенты эластичности, можно сделать следующие выводы об изменении результативного показателя:

- при увеличении материальных затрат на оснастку НИОКР (X1) на 1% затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y) увеличатся на 0,318%;
- при увеличении количества ревизий разрабатываемого продукта (X2) на 1% затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y) увеличатся на 0,049%;
- при увеличении срока разработки продукции (X3) на 1% затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y) увеличатся на 0,261%;
- при увеличении количества конструкторов, задействованных в проекте (X4) на 1% затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y) уменьшатся на 0,373%.

Таблица 3

**Основные показатели регрессионной статистической
модели (составлено автором)**

Множественный R	0,99
R-квадрат	0,99
Нормированный R-квадрат	0,98
Стандартная ошибка	127,21
Наблюдения	10

Таблица 4

**Основные показатели регрессионной статистической
модели (составлено автором)**

	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	0,0082	-300,19	249,32	-300,19	249,32
Переменная X 1	0,14	-0,37	1,89	-0,37	1,89
Переменная X 2	0,26	-5,63	16,42	-5,63	16,42
Переменная X 3	0,01	3,28	16,49	3,28	16,49
Переменная X 4	0,09	-36,24	327,59	-36,24	327,59

Таблица 5

**Коэффициенты эластичности модели
(составлено автором)**

	X1	X2	X3	X4
Коэффициенты эластичности	0,318	0,049	0,261	0,373

Далее рассчитаем зависимую переменную Y исходя из увеличения факторных признаков модели регрессии.

В данной таблице отражены переменные уравнения регрессии. Первая строка в таблице соответствует построенному уравнению, строки 2–4 содержат коэффициенты уравнения регрессии с поправкой на увеличение или уменьшение независимых переменных исходя из предложенных мероприятий. Итоговая строка данной таблицы содержит расчет эффекта от совокупного влияния сразу трех факторов независимых переменных.

Затем рассчитаем, насколько изменилась зависимая переменная по каждому параметру отдельно и в совокупности. Для этого из нового значения зависимой переменной Y, скорректированного на изменение факторного признака, вычтем значение Y при стандартных коэффициентах.

Таблица 6

Расчет эффекта от совокупного и отдельного влияния факторов (составлено автором)

	Y	(a0) b	a1	X1	a2	X2	a3	X3	a4	X4
Значение тренда	10231,6	-25,43	0,76	4301,04	5,39	93,5	9,89	270,7	145,67	26,2
Расчет эффекта от X1 + 5%	10068,6	-25,43	0,76	4085,99	5,39	93,5	9,89	270,7	145,67	26,2
Расчет эффекта от X2 – 5%	10206,4	-25,43	0,76	4301,04	5,39	88,825	9,89	270,7	145,67	26,2
Расчет эффекта от X3 – 5%	10097,8	-25,43	0,76	4301,04	5,39	93,5	9,89	257,165	145,67	26,2
Расчет эффекта от X3 – 5%	10040,8	-25,43	0,76	4301,04	5,39	93,5	9,89	270,7	145,67	24,89
Расчет эффекта от совокупного влияния факторов	10044,7	-25,43	0,76	4516,09	5,39	88,825	9,89	257,165	145,67	24,89

Таблица 7

Совокупный экономический эффект по факторным признакам модели регрессии (составлено автором)

	X1	X2	X3	X4	Совокупное влияние
Экономический эффект	-163	-25,201	-133,82	-190,83	-186,86

Из данной таблицы видно, что X1 дает прирост Y на 1,60, X2 дает прирост Y на 1,16, X3 дает прирост Y на 0,05. При совокупном влиянии факторов переменная Y увеличится на 2,81.

При совокупном влиянии трех переменных экономический эффект составит 2,81, данный показатель означает, что зависимая переменная увеличится на 2,81.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам исследования проблем качества мембран для пневматических клапанов в процессе перспективного планирования качества (APQP-процесс) получены следующие научно-практические результаты:

1. Анализ основных причин, влияющих на процесс производства и качество мембран для промышленных клапанов, позволил выделить пять направлений факторов, воздействующих на основной дефект – пористость мембран. Согласно плану APQP-процесса выбор технологии коэкструзии, оборудования для пятиосевой трехмерной печати, сырья из углеродного волокна на этапе проектирования производства позволит минимизировать пористость изделий (на 10 произведенных изделий новым способом только одно отбраковано с данным дефектом, в то время

как с использованием старой технологии показатель доходил до 4–5 изделий), а также повысить их физико-химические свойства, а именно прочность на разрыв.

2. Обоснована целесообразность использования инструмента перспективного планирования качества продукции (APQP) для улучшения процесса проектирования (прототипирования) мембран и постановки их на производство. Разработана структурная модель анализа производства в APQP-процессе, где ключевыми факторами повышения качества мембран и устранения дефекта являются выбор технологии изготовления, оборудование для печати мембран и характеристики исходного сырья.

3. Разработана математическая модель зависимости затрат на разработку новой продукции (НИОКР) от следующих показателей: материальные затраты на оснастку НИОКР, количество ревизий разрабатываемого продукта, срок разработки продукции, количество конструкторов, задействованных в проекте. Выявлена прямая зависимость влияния всех показателей. Таким образом, при увеличении факторных переменных, зависимая переменная будет увеличиваться.

Список литературы

1. Токмакова Т.В., Высоцкая В.И., Токмакова Е.Н., Маликов С.Б. Анализ особенностей методов APQP/PPAP для повышения качества наукоемкой продукции // Научно-технический журнал СТИН. 2022. № 1. С. 33–34.
2. Малышева Т.В. Контроль качества производства отечественных автокомпонентов на основе процедуры одобрения новых поставщиков (PPAP) стандарта IATF 16949 // Контроль. Диагностика. 2025. № 6 (324). С. 31–38.
3. Шинкевич А.И., Малышева Т.В., Иванова Л.Н. Мониторинг процессов энергосбережения в производственных системах на основе математической статистики // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2021. № 4. С. 57–64.
4. Малышева Т.В. Научно-практический подход к оценке эффективности управления качеством и несоответствующей продукцией в производственной системе // Управление качеством. 2022. № 11. С. 5–9.
5. Настин А.А. Планирование качества продукции. APQP & ГОСТ Р 15.301 – аналогичность в отличиях // Стандарты и качество. 2024. № 2. С. 92–96.

References

1. Tokmakova T.V. Vysotskaya V. I. Tokmakova E. N. Malikov S. B. Analysis of the features of APQP/PPAP methods for improving the quality of high-tech products. Scientific and technical journal STIN. 2022; 1: 33–34. (In Russ.)
2. Malysheva T.V. Quality control of the production of domestic automotive components based on the approval procedure for new suppliers (PPAP) of the IATF 16949. Control standard. Diagnostics. 2025; 6(324): 31–38 (In Russ.)
3. Shinkevich A.I. Malysheva T.V. Ivanova L.N. Monitoring of energy saving processes in production systems based on mathematical statistics. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2021; 4: 57–64. (In Russ.)
4. Malysheva T.V. A scientific and practical approach to assessing the effectiveness of quality management and nonconforming products in the production system. Quality management. 2022; 11: 5–9. (In Russ.)
5. Nastin A.A. Product quality planning. APQP & GOST R 15.301 – similarity in differences. Standards and Quality. 2024; 2: 92–96. (In Russ.)