

ЭВОЛЮЦИЯ РАЗВИТИЯ ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРЕДПРИЯТИЯ

Амосов А.И., аспирант кафедры логистики и управления ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань

Кудрявцева С.С., д-р экон. наук, доцент, профессор кафедры логистики и управления ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань

В статье предложена методика проведения визуально-оптического контроля в системе управления качеством предприятия. Суть метода заключается в следующем: контроль на предмет наличия поверхностных и подповерхностных дефектов проводят в проходящем свете, при этом перед проведением контроля изделие погружают в емкость с водой для повышения степени оптической прозрачности керамического материала и сушат на воздухе до исчезновения глянца водяной пленки на поверхности, а затем определяют расположение, тип и размер обнаруженных дефектов в отраженном свете. Предложена оптимизированная модель процесса механической обработки керамических заготовок. Авторами проведен расчет зависимости экономического эффекта от внедрения производственного визуально-оптического контроля. Применение нового способа подготовки поверхности контролируемого изделия принесло ощутимое снижение трудоемкости всей операции. Установлено, что при увеличении объема производства в 1,5 раза трудоемкость операции визуального-оптического контроля сократилась вдвое, что обеспечивает надежный задел по времени при прогнозируемом увеличении объемов выпускаемой продукции и дает возможность в дальнейшем оптимизировать производственные процессы без потери качества в сжатые сроки.

Ключевые слова: Система управления качеством, визуально-оптический контроль, неразрушающий контроль, трудоемкость операций, производственные дефекты, оптимизированная модель процесса механической обработки.

Цитирование: Амосов А.И., Кудрявцева С.С. Эволюция развития визуально-оптического контроля в системе управления качеством предприятия // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 3(84). С. 67–74.

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции свидетельствуют о стремительном росте требований к качеству продукции при минимизации добавленной стоимости ее изготовления, а в условиях увеличения объемов производства предприятия сталкиваются с необходимостью повышения эффективности процессов контроля. Особую значимость приобретают системы и методы управления качеством, которые гарантируют и обеспечивают неизменное качество готовой продукции на заданном уровне и напрямую влияют на устойчивость к изменениям внешних возмущающих воздействий или же на развитие внутрипроизводственных систем с одной целью – повышение конкурентоспособности всей компании. В современных условиях, когда программы импортозамещения становятся важнейшим направлением развития промышленности всей страны, инновационные подходы к производственному контролю качества играют ключевую роль в повышении эффективности производственных систем.

Актуальность исследования определяется потребностью в совершенствовании производственной подсистемы предприятий, которая должна обеспечивать своевременное и качественное выполнение производственных задач в условиях систематического, резкого, а вместе с тем и кратного увеличения объемов производства и отгрузки готовой продукции. Проблемы существующих систем контроля, такие как недостаточная интеграция современных технологий и высокая трудоемкость процессов, создают риски, угрожающие стабильности производства. Новый метод неразрушающего производственного контроля совместно с оптимизированной моделью процесса механической обработки обеспечивают высокую точность, оперативность и достоверность выявления дефектов, тем самым повышая добавленную ценность при одновременном снижении добавленной стоимости за счет исключения издержек, связанных с технологическими потерями на окончательном этапе цикла изготовления и излишней обработки заведомо негодных заготовок.

ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

В широком смысле на большинстве производственных предприятий визуально-оптический контроль (ВОК) применяется как вид неразрушающего контроля (НК), основанный на анализе взаимодействия оптического излучения с объектом контроля, а сам метод основан на получении первичной информации об объекте при визуальном наблюдении или с помощью оптических приборов (ГОСТ Р 56542–2019) и в основном сводится к осмотру качества поверхности. Лидирующее подразделение АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина» по внедрению инноваций не стало ограничиваться общепринятыми канонами, а вышло за рамки метода контроля качества поверхности, утвержденного государственным стандартом.

Первый этап

В начале длительного пути повышения качества выпускаемой продукции из керамических материалов для авиации

и космоса [1] совместно с достижением положительного экономического эффекта нашим предприятием в 2016 году был освоен способ визуально-оптического контроля, который позволяет выявлять не только поверхностные, но и подповерхностные дефекты с помощью простой дополнительной предварительной подготовки поверхности и несложного вспомогательного оборудования и приспособлений [2]. Суть метода заключается в следующем: контроль на предмет наличия поверхностных и подповерхностных дефектов проводят в проходящем свете, при этом перед проведением контроля изделие погружают в емкость с водой для повышения степени оптической прозрачности керамического материала и сушат на воздухе до исчезновения глянца водяной пленки на поверхности, а затем определяют расположение, тип и размер обнаруженных дефектов в отраженном свете (рис. 1).

Экономический эффект от применения нового метода контроля качества за период с 2017 по 2021 год составил не менее 85 млн руб. [3].

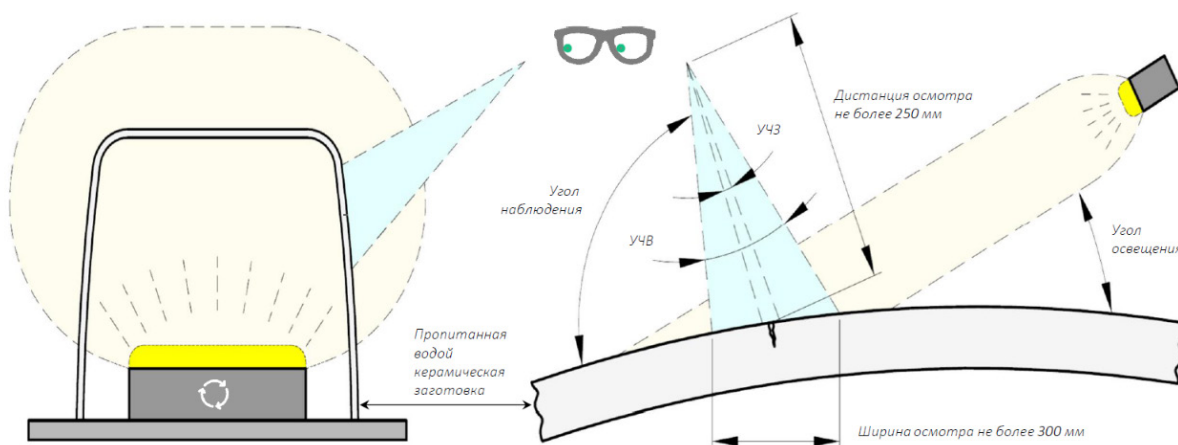


Рис. 1. Схематичное описание выявления дефектов запатентованным способом (составлено авторами)

Второй этап

С целью оптимальной организации материального потока для решения задачи по устранению потерь на участке механической обработки керамических заготовок было принято управленческое решение по очередному повышению эффективности производственного процесса.

Следующим этапом в цепочке развития стало применение запатентованного метода контроля [4] непосредственно в процессе операции механической обработки, а не после ее окончания [5], что, в свою очередь, напрямую отразилось на трудоемкости и экономичности производства. Трудоемкость была снижена за счет исключения переобработки наружной поверхности, а экономия расхода материала возросла в результате внедрения доработки мелкоразмерных дефектов [6]. Результат полностью оправдал

затраченные усилия и принес только в 2022 году экономический эффект в размере 7,7 млн руб. [6, 7].

Подтверждение целесообразности дальнейшего развития

Прогнозируя еще больший экономический эффект в условиях регулярного увеличения объема производства, с целью оправдания дальнейших исследований в направлении развития производственного контроля и использования человеческих ресурсов при проведении опытных работ был проведен корреляционно-регрессионный анализ логистического процесса после применения инноваций [8]. Предполагалось, что он позволит установить и оценить зависимость экономического эффекта (Y) в результате внедрения инновации – производственного ВОК – от количества спасенных в результате доработки изделий (X_1) и сокращения трудоемкости за счет исключения переобработки (X_2).

По исходным данным за период с 2021 по 2023 год был построен график, линия тренда которого указывает на ли-

нейную зависимость экономического эффекта от внедрения инноваций (рис. 2).

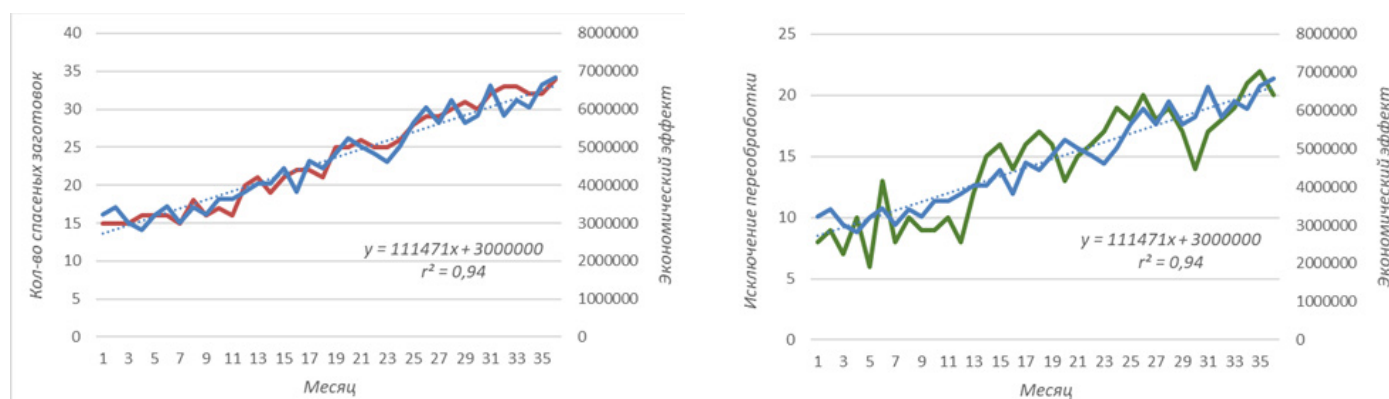


Рис. 2. График зависимости экономического эффекта от внедрения производственного БОК (составлено авторами)

Согласно сделанному предположению выбран вид функции регрессии (линейная зависимость), которая может описывать связь исходных данных, и определены численные коэффициенты:

$$y = a_0 + a_1 X, \quad (1)$$

$$a_1 = \frac{n(\sum y_i x_i) - \sum y_i \sum x_i}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}, a_0 = \frac{1}{n} (\sum y_i - a_1 \sum x_i). \quad (2)$$

Расчет по исходным данным установил $a_0 = 3000000$, $a_1 = 111471$.

Следующим этапом была оценена сила найденной регрессионной зависимости на основе коэффициента детерминации r^2 :

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^p - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i^p - \bar{y})^2} = 0,93. \quad (3)$$

Так как значение $r^2 = 0,93 (\geq 0,75)$, можно с большой долей вероятности прогнозировать и будущий экономический эффект от внедрения инновации.

Проведенный расчет стал основанием для вложения усилий в дальнейшее развитие производственного визуаль-но-оптического контроля.

Третий этап

Определенные трудности непременно появляются в результате планомерного увеличения объема производства, и связано это с неизбежным образованием «узких мест» при движении материального потока, в нашем случае керамических – заготовок при перемещении между технологическими операциями. Комплекс уникальных решений по оптимизации применения визуально-оптического контроля уже был рассмотрен ранее [9]. Очередное «узкое место»

образовалось на этапе производственного контроля как результат увеличения производственных мощностей для реализации возросшего спроса на уникальные наукоемкие керамические изделия. Пропускная способность участка стала ограничивать и замедлять непрерывное движение между операциями механической обработки внутренней и наружной поверхностей керамической заготовки.

С целью более эффективного управления материальным потоком в рамках производственной деятельности подразделения по серийному выпуску наукоемких керамических изделий было принято очередное решение по расширению производственного контроля для исключения переобработки уже на этапе механической обработки внутренней поверхности керамической заготовки.

Предлагается проводить предварительный контроль качества обрабатываемой внутренней поверхности непосредственно на станке с ЧПУ, в котором барабан дооснащен световыми элементами, создающими световой поток (рис. 3), при помощи которого проводится контроль на наличие поверхностных и подповерхностных дефектов в прошедшем излучении на пропитанной водой керамической заготовке [10]. Пропитка водой происходит одновременно с обработкой, так как она непрерывно подается в место контакта для охлаждения режущего инструмента, а осмотр поверхности на наличие очевидных дефектов производит сам оператор станка с ЧПУ, обученный основным методам выявления и классификации дефектов для сохранения человеческого ресурса на участке производственного контроля.

Такая инновация позволяет восстановить непрерывность движения между операциями механической обработки в рамках пропускной способности участка производственного БОК за счет уменьшения количества заготовок, переданных на контроль.

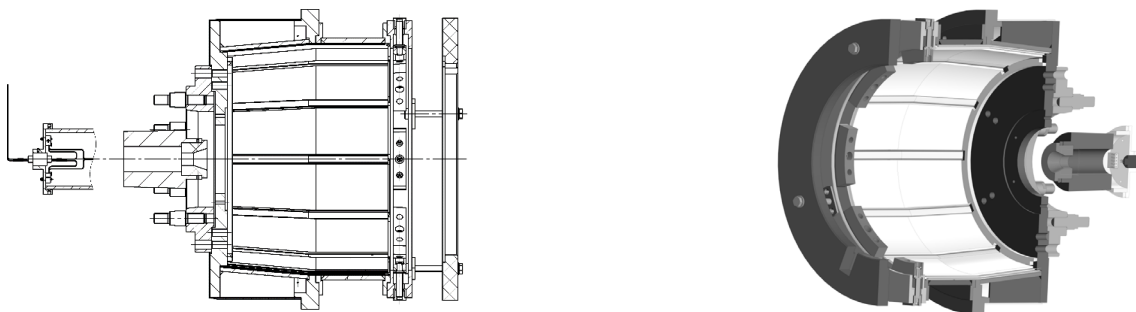


Рис. 3. Схема и внешний вид в сечении доработанного барабана станка с ЧПУ

В результате применения предварительного ВОК количество переданных на производственный контроль керамических заготовок сократилось на 4,6%, что эквивалентно сокращению трудоемкости за счет исключения переобработки. А количество спасенных заготовок в результате доработки непосредственно на станке с ЧПУ, не снимая с барабана, составило 6,9%. В денежном эквиваленте экономическая эффективность логистической инновации превысила 1,2 млн руб. с учетом роста объема производства за 6 календарных месяцев с 2023 по 2024 год. При этом соб-

ственные средства, затраченные на реализацию проекта, не соизмеримы с достигнутым эффектом и составляют не более 350 тыс. руб. одновременно.

На рис. 4 изображена оптимизированная модель процесса механической обработки керамических заготовок с учетом последовательности внедрения инноваций. Зеленым цветом обозначен первый этап внедрения ВОК, желтым – второй этап применения производственного ВОК, а третий этап – предварительный ВОК – обозначен синим цветом.

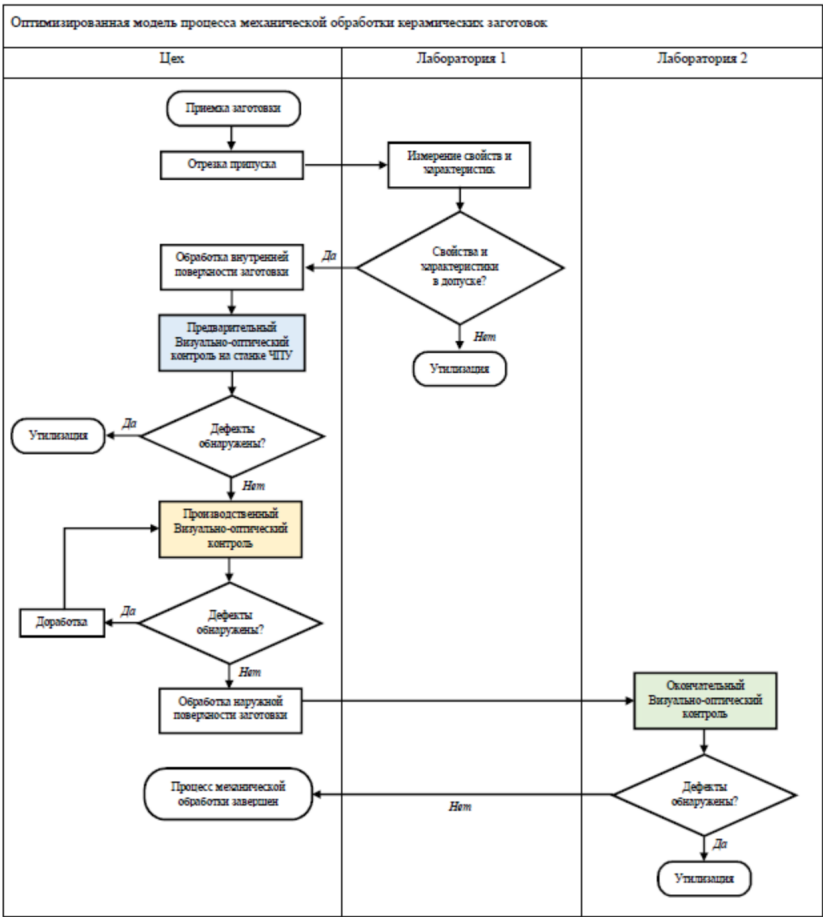


Рис. 4. Оптимизированная модель процесса механической обработки керамических заготовок (составлено авторами)

Четвертый этап

Любая логистическая инновация, направленная на повышение эффективности производственной системы, не может ограничиваться только лишь управленческими решениями. Соизмеримо важны и технические новшества, приносящие пользу с точки зрения качества выполнения технологического процесса в целом, как логистической функции, либо отдельных его частей – логистических операций.

Так как логистической операцией называется любое элементарное действие, приводящее к преобразованию параметров материального потока, или обособленная совокупность действий, направленных на преобразование этого потока, а логистической функцией – укрупненная группа логистических операций, направленных на решение определенной задачи [11, 12], то можно отметить и новое техническое решение, которое внесло свой вклад в развитие производственной системы в целом.

Одним из таких технических решений стали разработка, изготовление и отработка применения генератора переменного воздушного потока, который предназначен для сокращения времени до исчезновения глянца водяной пленки на поверхности керамической заготовки, а также использование желтого светофильтра в источнике излучения [13]. Согласно разработанной методике [2] необходимым условием подготовки перед проведением ВОК являются пропитка водой керамической заготовки и выдержка на воздухе до исчезновения глянца водяной пленки. Это действие необходимо для обеспечения максимальной достоверности при выявлении поверхностных дефектов. В то же время для начала проведения ВОК необходимым условием является однородность пропитки заготовки водой для обеспечения равномерной степени оптической прозрачности по всей поверхности. То есть необходимо удалить глянец водяной пленки и при этом не пересушить локально изделие. Экспериментально было определено, что в первые пять минут значение скорости начального воздушного потока устанавливается равным 4,5 м/с, последующие пять минут – 4 м/с, а завершающие пять минут – 2,5 м/с. На рис. 5 изображена схема способа подготовки поверхности изделия для ВОК.

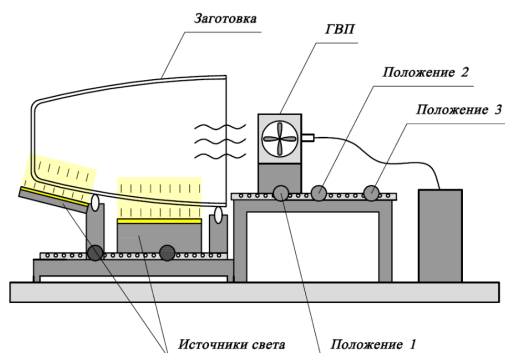


Рис. 5. Схема способа подготовки поверхности изделия для ВОК (составлено авторами)

Таким образом, исчезновение глянца водяной пленки происходит равномерно по всей внутренней поверхности керамической заготовки за интервал времени 15 минут, что втрое меньше среднего времени высушивания в естественных условиях (45 минут).

Применение нового способа подготовки поверхности контролируемого изделия принесло ощутимое снижение трудоемкости всей операции. Если рассматривать время проведения ВОК как сумму времени на подготовку поверхности и непосредственно осмотр, то это время сократилось вдвое.

Стоит отметить своевременность внедрения нового технического решения. При увеличении объема производства в 1,5 раза трудоемкость операции ВОК сократилась вдвое, что обеспечивает надежный задел по времени при дальнейшем увеличении объемов выпускаемой продукции и дает возможность в дальнейшем оптимизировать производственные процессы без потери качества при дефиците времени.

Рассматриваемый период развития ВОК можно представить как график зависимости времени в хронометраже последовательно внедренных новшеств от технологической эффективности, достигнутой в результате их внедрения (рис. 6).

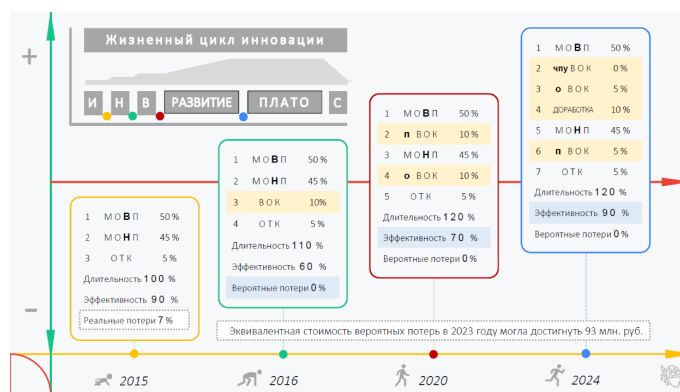


Рис. 6. Схематичное представление зависимости технологической эффективности от этапов развития ВОК (составлено авторами), где:

МОВП – механическая обработка внутренней поверхности;
МОНП – механическая обработка наружной поверхности;
ОТК – контроль качества сотрудниками отдела технического контроля после завершения всей операции механической обработки (желтый контур);
оВОК – окончательный визуально-оптический (зеленый контур);
пВОК – производственный визуально-оптический контроль (красный контур);
чуВОК – визуально-оптический контроль на станке с числовым программным управлением (синий контур).

Приведенную схему следует понимать следующим образом: несмотря на увеличение длительности всего процесса механической обработки керамических заготовок, удалось сохранить технологическую эффективность и полностью

исключить вероятные технологические потери на окончательном этапе изготовления изделий за счет внедрения, развития и удержания на плато жизненного цикла инновации нового метода – визуально-оптического контроля качества керамических заготовок.

Визуально можно оценить, что инновационный цикл внедренной в 2016 году инновации находился на этапе роста, а к 2024 году достиг этапа насыщения. Однако это не означает, что впереди ожидается этап спада эффективности, возможно и иное развитие – продолжение роста и стабилизации, которое требует генерации новых идей, а как результат – внедрение новых инновационных управленческих и технических решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изготовление керамических изделий с учетом описанных [14] проблем неизбежно связано с появлением структурных дефектов, а в наукоемком производстве нарушение сплошности материала сильно ограничено по размеру и расположению, а дефекты, классифицируемые как трещины, вовсе не допустимы. Поэтому крайне важно внедрять эффективные методы идентификации дефектов на ранних этапах производственного цикла, а классические методы неразрушающего контроля, такие как ультразвуковой контроль и цветная, капиллярная, дефектоскопия,

оказались неэффективными с точки зрения трудоемкости либо с точки зрения ограничений в применении соответственно. Поэтому был выбран путь инновационного развития и внедрен собственный метод обнаружения критических структурных дефектов – визуально-оптический контроль совместно с оптимальной организацией материального потока в процессе механической обработки керамических заготовок.

Таким образом, совокупность научно-технических, технологических и организационных изменений, происходящих в процессе реализации инноваций, можно определить как инновационный процесс, а период создания, распространения и использования нововведений называется инновационным циклом. Инновационный цикл включает в себя этапы создания новации, ее внедрения, роста, стабилизации и спада.

Одна из основных задач заключается в увеличении времени роста и стабилизации инновационного цикла, то есть в увеличении продолжительности периода, приносящего пользу для развития производственной системы предприятия или отдельных логистических функций в результате внедрения новшества. На решение этой задачи и было направлено развитие внедренной в 2016 году инновации – визуально-оптического контроля.

Список использованных источников и литературы

1. Харитонов Д.В., Тычинская М.С., Анашкина А.А., Макаров Н.А., Лемешев Д.О. Керамические материалы для авиации и космоса: учебное пособие РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2022. – 120 с.
2. Харитонов Д.В., Терехин А.В., Русин М.Ю., Анашкина А.А., Тычинская М.С., Амосов А.И., Маслова Е.В., Типикин М.Е. Разработка методики визуально-оптического контроля изделий из кварцевой керамики // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2021. № 4. С. 29–33.
3. Шинкевич А.И., Кудрявцева С.С., Харитонов Д.В. Теория ограничений в функционировании научно-производственных предприятий // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе, издательство. 2023. № 3 (47). С. 70–79.
4. Патент РФ № 2746674 от 24.08.2020. Способ визуально-оптического контроля поверхности изделия из кварцевой керамики.
5. Патент РФ № 2764064 от 02.10.2020. Способ механической обработки крупногабаритных сложнопрофильных керамических изделий.
6. Харитонов Д.В., Амосов А.И., Терехин А.В., Анашкина А.А., Маслова Е.В. Керамические изделия. Инновационные операции неразрушающего контроля // Компетентность. 2022. № 7. С. 21–25.
7. Харитонов Д.В., Амосов А.И., Терехин А.В., Анашкина А.А., Маслова Е.В. Экономическая эффективность инновационных операций неразрушающего контроля // Компетентность / Competency (Russia). 2022. № 9–10. С. 38–42.
8. Jalal A.Q., Essa Allalaq H.A., Shinkevich A.I., Kudryavtseva S.S., Ershova I.G. Assessment of the efficiency of energy and resource-saving technologies in open innovation and production systems // International Journal of Energy Economics and Policy. 2019. Vol. 9. no. 5. Pp. 289–296.
9. Харитонов Д.В., Блинов А.Н., Анашкин Д.А. Повышение производительности участка механической обработки керамических изделий в ОПК // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 1. С. 114–120.
10. Патент РФ № 2834522 от 11.02.2025. Способ механической обработки внутренней поверхности керамических изделий с контролем структурных дефектов.
11. Таюрская А.К., Сальников Д.В., Фадеева Н.В. Качество логистических процессов // История и перспективы развития транспорта на севере России. 2021. № 1. С. 159–162.
12. Астахов С.А., Швец Н.Н. Повышение экономической эффективности разработки и производства беспилотных авиационных систем на основе реализации перспективной программы стандартизации // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 1 (82). С. 4–9.

13. Заявка на патент РФ № 202410339/28(004753) от 30.01.2024. Способ подготовки поверхности и условий наблюдения для визуально-оптического контроля.
14. Суздальцев Е.И., Харитонов Д.В., Анашкина А.А. Анализ существующих радиопрозрачных материалов, композиций и технологий для создания обтекателей скоростных ракет. Часть 3. Технология изготовления кварцевых и стеклокристаллических обтекателей, проблемы и перспективы улучшения // Новые огнеупоры. 2010. № 8. С. 43–49.

EVOLUTION OF DEVELOPMENT OF VISUAL-OPTICAL CONTROL IN THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF THE ENTERPRISE

Amosov A.I., postgraduate student of the department of logistics and management, Kazan national research technological university, Kazan

Kudryavtseva S.S., doctor of economics, associate professor, professor of the department of logistics and management, Kazan national research technological university, Kazan

The article proposes a methodology for visual-optical control in the enterprise quality management system. The essence of the method is as follows: control for the presence of surface and subsurface defects is carried out in transmitted light, while before the control, the product is immersed in a container with water to increase the degree of optical transparency of the ceramic material and dried in the air until the gloss of the water film on the surface disappears, and then the location, type and size of the detected defects are determined in reflected light. An optimized model of the process of mechanical processing of ceramic blanks is proposed. The authors calculated the dependence of the economic effect on the implementation of industrial visual-optical control. The use of a new method for preparing the surface of the controlled product brought a noticeable decrease in the labor intensity of the entire operation. It was found that with an increase in production volume by 1.5 times, the labor intensity of the visual-optical control operation was halved, which provides a reliable reserve in time for a further increase in the volume of manufactured products and makes it possible to further optimize production processes without losing quality, as with a shortage of time.

Keywords: visual-optical control, non-destructive testing, quality management system, labor intensity of operations, manufacturing defects, optimized model of the mechanical processing process.

For citation: Amosov A.I., Kudryavtseva S.S. Evolution of development of visual-optical control in the quality management system of the enterprise. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2025; 3(84): 67–74. (In Russ.).

References

1. Haritonov D.V., Tychinskaya M.S., Anashkina A.A., Makarov N.A., Lemeshev D.O. Keramicheskie materialy dlya aviatsii i kosmosa [Ceramic materials for aviation and space]: uchebnoe posobie RHTU im. D.I. Mendeleeva, 2022, 120 p.
2. Haritonov D.V., Terekhin A.V., Rusin M.Yu., Anashkina A.A., Tychinskaya M.S., Amosov A.I., Maslova E.V., Tipikin M.E. Razrabotka metodiki vizual'no-opticheskogo kontrolya izdelij iz kvarcevoj keramiki [Development of a method for visual and optical control of quartz ceramic products]. Oboronnyj kompleks – nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. 2021, no. 4, pp. 29–33.
3. Shinkevich A.I., Kudryavtseva S.S., Haritonov D.V. Teoriya ogranichenij v funkcionirovanii nauchno-proizvodstvennyh predpriyatij [Theory of constraints in the functioning of scientific and industrial enterprises]. Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve, izdatel'stvo. 2023, no. 3 (47), pp. 70–79.
4. Patent RF № 2746674 ot 24.08.2020. Sposob vizual'no-opticheskogo kontrolya poverhnosti izdeliya iz kvarcevoj keramiki [Method of visual-optical control of the surface of a product made of quartz ceramics].

5. Patent RF № 2764064 от 02.10.2020. Sposob mekhanicheskoy obrabotki krupnogabaritnyh slozhnoprofil'nyh keramicheskikh izdelij [Method of mechanical processing of large-sized complex-profile ceramic products].
6. Kharitonov D.V., Amosov A.I., Terekhin A.V., Anashkina A.A., Maslova E.V. Keramicheskie izdeliya. Innovacionnie operaciy nerazrushaushego kontrolya. [Ceramic products. Innovative non-destructive testing operations]. Competence. 2022, no. 7, pp. 21–25.
7. Kharitonov D.V., Amosov A.I., Terekhin A.V., Anashkina A.A., Maslova E.V. Ekonomicheskaya effektivnost' innovacionnyh operaciy nerazrushaushego kontrolya. [Economic efficiency of innovative non-destructive testing operations]. Competence (Russia). 2022, no. 9–10, pp. 38–42.
8. Jalal A.Q., Essa Allalaq H.A., Shinkevich A.I., Kudryavtseva S.S., Ershova I.G. Assessment of the efficiency of energy and resource-saving technologies in open innovation and production systems. International Journal of Energy Economics and Policy. 2019. Vol. 9, no. 5, pp. 289–296.
9. Haritonov D.V., Blinov A.N., Anashkin D.A. Povyshenie proizvoditel'nosti uchastka mekhanicheskoy obrabotki keramicheskikh izdelij v OPK [Increasing the productivity of the ceramic products mechanical processing section in the military-industrial complex]. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2022, no 1, pp. 114–120.
10. Patent RF № 2834522 от 11.02.2025. Sposob mekhanicheskoi obrabotki vnutrennei poverhnosti keramicheskikh izdeliy s kontrolem strukturnih defektov. [Method of mechanical treatment of the inner surface of ceramic products with control of structural defects].
11. Tayurskaya A.K., Sal'nikov D.V., Fadeeva N.V. Kachestvo logisticheskikh processov [Quality of logistics processes]. Istoriya i perspektivy razvitiya transporta na severe Rossii. 2021, no 1, pp. 159–162.
12. Astahov S.A., Shvec N.N. Povyshenie ekonomicheskoy effektivnosti razrabotki i proizvodstva bespilotnyh aviacionnyh sistem na osnove realizacii perspektivnoj programmy standartizacii [Improving the economic efficiency of development and production of unmanned aircraft systems based on the implementation of a promising standardization program] Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2025, no. 1(82), pp. 4–9.
13. Patent RF № 202410339/28(004753) от 30.01.2024. Sposob podgotovki poverhnosti i uslovyi nabludeniya dlya visual'no-opticheskogo kontrolya [Method of mechanical treatment of the inner surface of ceramic products with control of structural defect].
14. Suzdal'tsev E.I., Kharitonov D.V., Anashkina A.A. Analiz sushestvuyushih radioprozrachnih materialov, kompozitsiy i tehnologii dlya sozdaniya obtekatel'nykh skorostnykh raket [Analysis of existing radio-transparent materials, compositions and technologies for creating fairings for high-speed rockets. Part 3. Manufacturing technology of quartz and glass-crystal fairings, problems and prospects for improvement]. Novye ognepory, 2010, no. 8, pp. 43–49.