

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Гинцяка Алексея Михайловича

на диссертацию Винниченко Александры Валерьевны

«Модели и методики проектирования бережливых производственных систем методами машинного зрения»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22 – «Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства»

Актуальность темы диссертационного исследования

Актуальность исследования обуславливается необходимостью поиска научно-практических решений для оптимизации производственных процессов в машиностроении. Особую значимость эта задача приобретает в рамках национального проекта «Средства производства и автоматизации», направленного на технологическое лидерство и повышение производительности машиностроительных производств. Для предприятий это означает обязательный переход к современным цифровым и бережливым методам управления производством, подчеркнутый в государственных программах цифровой трансформации.

Классические инструменты бережливого производства ориентированы главным образом на локальное устранение потерь и не учитывают достоверность действий оператора, а значит — реальные ограничения гибкости и надёжности системы «оператор-оборудование-процесс». Это создает разрыв между требованиями к высокой адаптивности производства и возможностями традиционных методов. Хотя инструменты бережливого производства и цифровые технологии (промышленный интернет вещей, искусственный интеллект, большие данные) активно исследуются по отдельности, в отечественной практике всё ещё нет комплексной методологии их совместного применения, в том числе для дискретного машиностроения.

Вместе с тем методы машинного зрения обладают высоким (и вместе с тем недостаточно реализованным) потенциалом применения в автоматизации производственных процессов. Автоматизированный хронометраж на основе оптических стендов и алгоритмов компьютерного зрения позволяет без вмешательства в процесс объективно фиксировать простые и нестандартные действия, обеспечивая оперативный сбор точных данных. Такие решения признаны наиболее актуальными для адаптивных производственных систем.

Традиционные подходы к организации производства, основанные на локальном устранении технологических несоответствий, не учитывают

ключевые показатели, связанные с качеством и достоверностью действий оператора. В частности, недостаточно применяются методы автоматизированного контроля подготовительно-заключительного времени, а также межоперационных и межпроцессных переходов. Это снижает производительность и ограничивает эффективность системы «оператор–оборудование–процесс».

Интеграция автоматизированных методов контроля технологических операций традиционно сопряжена с высокой сложностью их внедрения в действующие производственные системы. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования, направленные на развитие мобильного мониторинга с использованием динамических точек контроля качества и хронометрирования. На основе полученных данных могут формироваться рекомендации по повышению гибкости процессов и оптимизации управления потерями. Решение этих задач требует разработки и внедрения бережливых производственных систем, основанных на методах машинного зрения.

Таким образом, сформулированная автором научно-практическая задача по разработке моделей и методик проектирования бережливых производственных систем с применением методов машинного зрения является актуальной и соответствует приоритетным направлениям развития науки и техники, целям национального проекта технологического лидерства «Средства производства и автоматизации» и стратегическим задачам государственных программ в области цифровой трансформации промышленности.

Структура и содержание работы

Диссертация объёмом 223 страниц машинописного текста содержит введение, три содержательных главы, заключение, список литературы и приложения; в тексте приведены 36 рисунков и 49 таблиц, что обеспечивает наглядность полученных результатов.

Во введении сформулированы цель — повышение организационно-технологической эффективности производственной системы «оператор — оборудование — процесс», восемь исследовательских задач, объект и предмет исследования, а также положения, выносимые на защиту; аргументирована научная новизна и практическая значимость синтеза бережливого производства с методами машинного зрения для отечественного машиностроения.

Первый раздел начинается с ретроспективного анализа эволюции производственных систем, затем предлагает карту потерь как дополнение к

нормативным документам и строит структурную модель производственной «оператор – оборудование – процесс» с функциями принадлежности для оператора, оборудования и процесса; ключевой результат — динамическая модель автоматизированного хронометража и методика её валидации, позволяющая объективно фиксировать простои и достоверность действий оператора.

Во втором разделе автор совершенствует существующие инструменты бережливого производства и цифровые подходы к организации производственных процессов, формирует базу показателей, вводит интегральный индекс организационно-технологической эффективности и предлагает адаптивную модель проектирования бережливой производственной системы на основе модифицированного цикла PDCA с элементами кайдзен и машинного зрения; представлена библиотека из 127 шаблонов решений и 23 алгоритмов, а также вычислительная процедура быстрой оценки экономического эффекта.

Третий раздел описывает информационно-управляющую модель с распределённым хранилищем данных, потоковой интеграцией оптического стенда и системой дистанционного мониторинга; детализируется методика оперативного управления с матрицей рекомендаций и корректирующих действий, демонстрируется дашборд Power BI, позволяющий в режиме реального времени оценивать организационно-технологическую эффективность и автоматически генерировать управленческие решения.

В заключении обобщены результаты: интеграция инструментов бережливого производства с методами компьютерного зрения повысила организационно-технологическую эффективность на 7–10 %, сократила совокупные потери до 13 % и уменьшила время управленческого отклика до минутного масштаба; обозначены перспективы дальнейшего тиражирования методологии в других отраслях и направления будущих исследований.

Материалы диссертационного исследования представлены в логичной последовательности, результаты в совокупности представляют целостную законченную работу. Диссертация изложена технически грамотным языком. Общее оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

В автореферате диссертации лаконично и логично изложены основные положения диссертационного исследования, которые полностью соответствуют тексту диссертации.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

В обзорной и практической частях автор опирается на нормативно-техническую документацию, официальную статистику и открытые библиотеки разработки программного обеспечения. Корректность алгоритмов машинного зрения и расчётов показателей обоснована ссылками на эти источники. Все модели (множественная и логистическая регрессии, методы нечеткой логики) построены исходя из требований к минимизации ошибки и проверены методом наименьших квадратов. Для каждого фактора «оператор – оборудование – процесс» приведены коэффициенты влияния и границы применимости моделей.

Для динамической модели автоматизированного хронометража создана специальная методика, позволяющая применять проверку порогов и выполнять категоризацию до чётких числовых оценок организационно-технологической эффективности, что обеспечивает воспроизводимость результатов на предприятиях с различной номенклатурой продукции. Динамическая модель автоматизированного хронометража интегрирована в программный продукт, зарегистрированный как программа для ЭВМ, это позволило проверить работоспособность алгоритмов на реальных видеопотоках.

На пилотных участках промышленных предприятий проведена апробация результатов исследования: развёрнут оптический стенд, измерены точность позиционирования, частота обработки и зафиксировано сокращение совокупных потерь на 10–13 %. Данные результаты подтверждены актами, приведёнными в приложениях.

Результаты исследования изложены в 23 печатных работах (из них 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК) и доложены на 8 международных и всероссийских конференциях, что обеспечило экспертную оценку и внешнюю рецензию предложенных моделей.

Таким образом, обоснованность и достоверность научных положений диссертации, выводов и рекомендаций обеспечивается за счёт использования нормативной и статистической базы, корректности использования математического аппарата, поэтапной верификацией и валидацией, а также промышленной апробацией и представлением промежуточных и итоговых результатов экспертному сообществу.

Научная новизна

В диссертационном исследовании представлены следующие результаты, обладающие научной новизной.

1. Динамическая модель автоматизированного хронометража производственной системы «оператор – оборудование – процесс». Впервые к классическому хронометражу добавлены показатели, количественно характеризующие уровень качества и достоверность действий оператора, что позволяет фиксировать простои и оценивать вклад человека в вариативность операций в реальном времени.

2. Модель проектирования бережливой производственной системы «оператор-оборудование-процесс». Предложена модификация цикла PDCA и его интеграция вместе с методами кайдзен и алгоритмами машинного зрения, за счёт чего инструменты бережливого производства получают обратную связь от цифровых источников данных и могут автоматически подстраиваться под изменяющиеся условия производственного процесса, что ранее в известных исследованиях не реализовывалось.

3. Информационно-управляющая модель обеспечения качества выполнения предъявляемых требований с распределёнными хранилищами данных. Новизна состоит в дополнении традиционной MES/ERP-логики процедурами интеллектуальной верификации соответствия процесса требованиям и когнитивным классификатором персонала, который учитывает навыки и потенциал работника при формировании управленческого воздействия.

4. Методика принятия решений оперативного управления для выбора и предоставления рекомендаций в интеграции инструментов и методов повышения организационно-технологической эффективности проектируемой бережливой производственной системы «оператор-оборудование-процесс». В работе впервые приводится использование алгоритма машинного обучения для автоматизированного выбора рекомендаций и корректирующих действий из банка знаний бережливого производства.

Таким образом, диссертация вносит оригинальный вклад в научно-практическую область управления качеством и организации производства, предлагая новые формы математического описания, адаптивного проектирования и интеллектуального управления бережливыми системами в цифровой среде.

Основные результаты получены в рамках выполнения государственного задания «Фундаментальные основы построения помехозащищённых систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга» (шифр FSRF-2023-0003) по заказу Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Практическая значимость работы

Практическая значимость полученных результатов заключается в использовании частных моделей для повышения эффективности производственной системы «оператор-оборудование-процесс», обеспечивая значительное повышение организационно-технологической эффективности, снижение производственных потерь и улучшение управляемости на машиностроительных предприятиях. Динамическая модель автоматизированного хронометража сокращает временные потери при выполнении технологических операций на 7-10%, а модель проектирования бережливой производственной системы снижает объем незавершенного производства на 7% и ускоряет внедрение улучшений на 10% благодаря гибкому циклу PDCA. Информационно-управляющая модель с распределенными хранилищами данных уменьшает время проверки соответствия продукции требованиям на 7-10%, повышая качество выпускаемых изделий. Разработанная методика принятия решений оперативного управления оптимизирует анализ состояния производственной системы, сокращая время оценки на 5-7% и повышая организационно-технологическую эффективность на 5%, а также уменьшает время выбора рекомендаций и корректирующих действий на 11%, способствуя оперативному реагированию на изменения в производственном процессе.

Разработанные решения полностью или частично внедрены на трёх предприятиях: АО «Микротехника», АО «НИИ «Масштаб»» и ООО «А-РИАЛ» (акты внедрения включены в приложения к работе). Согласно актам внедрения, суммарные потери на пилотных участках сократились на 10–13 %, а точность управления выросла на 7–10 %.

Автором зарегистрирована программа для ЭВМ, куда интегрированы алгоритмы компьютерного зрения и база знаний из 127 шаблонов решений, что позволяет внедрять систему без покупки стороннего программного обеспечения и быстро адаптировать её под оборудование заказчика.

Методики и программные модули применяются в учебном процессе СПб ГУАП на курсах, связанных с бережливым производством и контролем качества, тем самым готовя специалистов в области «Lean + Vision».

Таким образом, практическая значимость работы выражается в доказанных количественных улучшениях производственной эффективности, документированных примерах промышленного внедрения, наличии готового программного продукта и включении разработок в образовательные программы, что обеспечивает их массовую и быструю тиражируемость в промышленности.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

Вместе с тем, в процессе ознакомления с диссертационной работой Винниченко А.В. возникает ряд вопросов и замечаний.

1. В работе представлена структурная модель функционирования производственной системы. При этом автор диссертационного исследования не в полной мере раскрывает условия, при которых проводилась декомпозиция модели, а также не поясняет, какими именно детерминантами обоснованы её составные элементы. Это затрудняет оценку полноты и достоверности предложенной модели.

2. Требуется дополнительное обоснование перечня стандартов, на которые опирается исследование при определении методологических подходов к предмету и объекту диссертационной работы в области организации бережливого производства. Каким образом данные стандарты повлияли на выбор методов и структуру исследования?

3. Разработанная автором диссертационной работы динамическая модель автоматизированного хронометража учитывает заданный уровень качества и степень достоверности действий оператора. Вместе с тем, требуется дополнительное обоснование декомпозиции факторов, представленных в виде физиологических и психологических переменных. Каким образом были определены данные факторы, какие методы рекомендуется использовать для их измерения или мониторинга?

4. В работе утверждается, что динамическая модель автоматизированного хронометража универсальна и не привязана к конкретному оборудованию. Однако промышленная апробация проведена на трёх машиностроительных площадках (вероятно, обладающих схожими характеристиками). Какая адаптация может потребоваться при переносе модели в иные отрасли или использовании для непрерывных процессов? Какие иные ограничения использования автор устанавливает для данной модели?

5. В работе представлены корреляционные матрицы взаимосвязей «оператор-оборудование», «оператор-процесс» и «оборудование-процесс». По каким критериям формировался набор исследуемых показателей для каждой матрицы? Какими методами определялись и верифицировались весовые коэффициенты корреляционных зависимостей? Какие ограничения следует учитывать при интерпретации полученных корреляционных взаимосвязей? Рассматривалась ли автором возможность существования между показателями множественной корреляционной зависимости при отсутствии парных?

6. Для методов машинного зрения указана точность позиционирования $\pm 0,5$ мм и частота обработки 45 к/с. Меняются ли эти требования при изменении условий – например, при слабом освещении или блеске поверхностей? Можно ли на основании данных факторов количественно оценить степень доверия результатам использования алгоритмов машинного зрения, чтобы в дальнейшем учесть их неопределённость при расчёте организационно-технической эффективности?

7. В работе недостаточное внимание уделяется описанию условий проведения апробации на промышленных предприятиях. В частности, интерес вызывает изначальное состояние объекта управления до проведения изменений. Описание этого состояния сделало бы данные об изменении количественных характеристик качества управления при проведении апробации более значимыми.

Отмечается, что данные вопросы и замечания направлены на уточнение позиции автора по основным положениям диссертационного исследования и не снижают общего положительного восприятия представленной работы и её значимости.

Заключение

В диссертационной работе Винниченко Александры Валерьевны содержится решение научно-практической задачи по разработке моделей и методик проектирования бережливых производственных систем с применением методов машинного зрения, соответствующей приоритетным направлениям развития науки и техники, целям национального проекта технологического лидерства «Средства производства и автоматизации» и стратегическим задачам государственных программ в области цифровой трансформации промышленности.

Диссертационная работа соответствует п. 1. «Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики процессов управления качеством и организации производства», п. 17 «Разработка и научно-практическое развитие инструментов бережливого производства, синхронизации в производственных системах, оптимизации процессов и рабочих мест», п. 23 «Разработка и совершенствование методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами», п. 25 «Разработка моделей описания, методов и алгоритмов решения задач проектирования производственных систем, организации производства и принятия управленческих решений в цифровой экономике» паспорту научной специальности 2.5.22 – Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Таким образом, диссертация является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научно-практической задачи разработки моделей и методик проектирования бережливых производственных систем с применением методов машинного зрения. Работа является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной, обоснованной на современном научном уровне, описывают законченный этап исследований. Достоверность изложенных в диссертации результатов обеспечивается использованием формализованных методов исследования, а также подтверждённой успешной апробацией результатов в производственных условиях.

Исходя из вышеизложенного считаю, что представленная диссертационная работа Винниченко А.В. является полноценной научно-квалификационной работой, направленной на актуальную проблемную область в управлении качеством и организации производства, соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013г. №842, соответствует специальности 2.5.22 - «Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства». Автор работы заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,
доцент Высшей школы
проектной деятельности и
инноваций в промышленности
Института машиностроения,
материалов и транспорта,
кандидат технических наук



Гинцjak
Алексей
Михайлович

«22» мая 2025 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого»
195251, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Академическое,
ул. Политехническая, д.29 литера Б
тел.: +7 (812) 775-05-30
e-mail: gintsyak_am@spbstu.ru

