

 На правах рукописи

Кунаков Егор Петрович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА
КАЧЕСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА
ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ ЦИКЛА PDCA**

Специальность 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация.
Организация производства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск – 2024 г.

Работа выполнена на кафедре автоматизации и управления ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Научный руководитель:	Лончих Павел Абрамович доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», профессор кафедры «Автоматизации и управления»
Официальные оппоненты:	Полякова Марина Андреевна доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», профессор кафедры «Технологий обработки материалов» (г. Магнитогорск) Плахотникова Елена Владимировна доктор технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», профессор кафедры «Инструментальные и метрологические системы» (г. Тула)
Ведущая организация	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (г. Москва)

Защита состоится 14 марта 2024 г. в 13-00 часов на заседании диссертационного совета ИРНТУ.05.04, созданного на базе ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, конференц-зал.

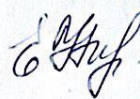
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» по адресу: <https://www.istu.edu/deyatelnost/nauka/dissertatsii/elementy/>.

Отзывы на автореферат (в 2-х экземплярах, заверенные печатью организации) направлять в адрес диссертационного совета ИРНТУ.05.04:

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ИРНТУ, ауд. Г-212а, ученому секретарю, e-mail palon@list.ru, телефон: (8-3952) 40-51-79.

Автореферат разослан 16 января 2024 года.

Учёный секретарь
диссертационного совета ИРНТУ.05.04
кандидат экономических наук, доцент



Е. Ю. Головина

Отметим важность учета новых подходов в исследованиях, связанных с разработкой технологических процессов и реализацией систем менеджмента. Хотя многие исследования посвящены условиям машиностроительного производства, они не всегда уделяют достаточного внимания улучшению процессов механической обработки металлов и гибки труб. Также не хватает анализа нового оборудования, которое может использоваться для совершенствования технологического процесса и улучшения качества изделий. С учетом цикла Деминга можно достичь дополнительных преимуществ в разработке этих процессов. Тщательное исследование новых подходов и оборудования может не только снизить затраты, но и повысить эффективность производства в целом. Поэтому необходимо уделять внимание имплементации философии цикла Деминга при разработке технологических процессов.

Объектом исследования является система менеджмента качества предприятия.

Предмет исследования – методы и инструменты создания, функционирования и совершенствования систем менеджмента качества предприятий машиностроения.

Цель исследования состоит в совершенствовании системы менеджмента качества машиностроительного производства на основе развития цикла Деминга с учетом особенностей этапов технологических процессов выпуска продукции.

Достижение поставленной цели работы обеспечивается путем постановки и решения следующих задач:

1. Сформировать научно-методический подход, позволяющий определить аналогии и различия цикла PDCA с существующими подходами к управлению качеством, а также триады и спирали качества Дж. Джурана.

2. Разработать алгоритм реализации модернизированного цикла PDCA с учетом специфики этапа проектирования на машиностроительных предприятиях и обосновать его применимость в целях адаптивного управления несоответствиями.

3. Доказать универсальность научно-методического подхода, применительно к системам менеджмента, сформированным на основе требований стандартов ИСО 9001, ИСО 14001, ИСО 45001 и других международных и отечественных стандартов, в том числе, в машиностроении, а также в проектном управлении и при реализации концепции CDIO в образовательных учреждениях высшего образования.

Научная новизна заключается в разработке теоретических положений по модернизации цикла PDCA и формировании рекомендаций по совершенствованию процессов системы менеджмента качества на этапах жизненного цикла продукции машиностроительных производств.

В числе основных результатов научного исследования, которые являются подтверждением научной новизны, укажем следующие:

1. Разработан метод совершенствования системы менеджмента качества за счет нового подхода к циклу PDCA, отличающийся от известных модернизацией цикла Деминга в формате PDDCA (Plan-Design-Do-Check-Act) и применением методов проектного управления.
2. Предложен новый подход к циклу PDCA для различных сфер и объектов, в том числе, проектного управления, внедрения элементов цифровизации и совершенствования образовательных процессов, отличающийся от известных методов повышением результативности процессов этапов планирования, проектирования и реализации.
3. Разработана архитектура систем менеджмента качества, реализуемых в различных сферах производства и услуг, основанных на модернизации цикла Деминга в формате PDDCA.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в развитии теории управления качеством, а именно модернизации цикла Деминга, что позволило:

1. Разработать подход совершенствования систем менеджмента качества и методов непрерывного улучшения процессов за счет развития цикла Деминга.
2. Предложить алгоритм решения задачи совершенствования систем менеджмента качества и методов непрерывного улучшения процессов за счет внедрения модернизированного цикла Деминга.
3. Внедрить разработанный цикл и подход в систему менеджмента качества Улан-Удэнского авиационного завода, входящего в холдинг АО «Вертолёты России», в технологическом процессе гибки труб.
4. Внедрить разработанные цикл в учебный процесс кафедры «Автоматизации и управления» по направлениям 27.03.02, 27.04.02 (бакалавриат, магистратура) «Управление качеством» в ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Методы исследования. Для решения поставленных в работе задач использовались труды отечественных и зарубежных специалистов в области менеджмента качества, реализации процессного подхода, принципов и совершенствования системы менеджмента, изучения проблем управления и подходов цифровизации. В процессе исследования использовались методы, аппарат и алгоритмы экспертных оценок, факторного анализа, математической статистики, методы системного анализа, статистической обработки данных, методы и инструмент анализа и управления рисками.

Положения, выносимые на защиту:

1. Подход совершенствования системы менеджмента качества на основе модернизации цикла PDCA в формате PDDCA.

2. Цикл и методическое обоснование совершенствования менеджмента качества машиностроительных производств, проектного управления, а также внедрения элементов цифровизации и совершенствования образовательных процессов за счет развития нового подхода к циклу Деминга.

3. Архитектура систем менеджмента качества, реализуемая в различных сферах производства и услуг, основанная на модернизации цикла Деминга в формате PDDCA.

Соответствие паспорту специальности Содержание диссертации соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства: 1. Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики процессов управления качеством и организации производства; 11. Создание и развитие систем менеджмента, том числе, интегрированных (ИСМ) на основе ИСО 9001, ИСО 14001, ИСО 45001 и смежных отраслевых международных и отечественных стандартов; 15. Научно-практическое развитие инженерных инструментов управления, организации производственных систем, а также баз знаний.

Достоверность научных результатов исследования обеспечивается корректностью постановки цели и задач, глубоким анализом множества зарубежных и отечественных источников, моделированием улучшений процесса, а также применением сертифицированного программного обеспечения для проведения расчётов.

Конкретное личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации.

Все результаты получены автором самостоятельно. Соискатель сформулировал цель, а также задачи диссертационного исследования; обосновал и подтвердил в ходе исследований научную новизну, а также разработал теоретические положения, составляющие предмет диссертационных исследований. Соискатель выполнил апробацию полученных результатов диссертационного исследования в ходе внедрения разработанного подхода совершенствования системы менеджмента качества машиностроительного производства в технологическом процессе гибки труб; подготовил и опубликовал результаты своих диссертационных исследований, а также доложил их на конференциях и научно-технических мероприятиях; сформулировал выводы, а также определил перспективные направления развития исследований.

Апробация результатов. Апробация результатов диссертации проводилась на международных и всероссийских научно-технических и

научно-практических конференциях: Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы развития экономики и предпринимательства» (г. Иркутск, 2016 г.), 2016 IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS), (г. Санкт-Петербург, 2016 г.), 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies"(IT&QM&IS), (г. Санкт-Петербург, 2017 г.), Всероссийская научно-практическая конференция "Проблемы развития экономики и предпринимательства" (г. Иркутск, 2017 г.), International Conference on Information Technologies in Business and Industry 2018 (г. Томск, 2018 г.), 2018 IEEE International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies; (IT&QM&IS), 2018 (г. Санкт-Петербург, 2018 г.), 2019 IEEE International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies; (IT&QM&IS), 2019 (г. Санкт-Петербург, 2019 г.), IEEE International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies; (IT&QM&IS), 2020 (г. Ярославль, 2020 г.), XX Международная научно-практическая конференция «Управление качеством» (г. Москва, МАИ, 2021 г.), XI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов» (г. Иркутск, 2021 г.).

Структура и объем работы. Диссертация имеет введение, четыре главы, заключение, список литературы, насчитывающий 145 источников и 3 приложения. Работа содержит 5 таблиц и 26 рисунков. Общий объем 126 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыта актуальность рассматриваемой научной проблемы по теме диссертационной работы, приведена степень разработанности выбранного направления, сформулированы цель и задачи исследования, научные положения, выносимые на защиту, изложена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, логическая структура диссертации, представлен личный вклад автора.

В первой главе проведен анализ состояния вопроса и развития применения цикла Деминга PDCA как инструмента улучшения процессов СМК в системах менеджмента, реализуемых на основе требований стандартов ИСО 9001, ИСО 14001, ИСО 45001 и других международных и отечественных стандартов, входящих в семейство стандартов ИСО 9000, и составляющих интегрированные системы менеджмента (ИСМ). Установлено, что данный подход является эффективным способом повышения качества и улучшения результативности бизнес-процессов.

Несмотря на успешность применения данной методологии в литературе существуют предложения по модернизации цикла PDCA в целях достижения улучшения СМК. Предлагаются новые инновационные

подходы, например цикл EPDCA, которые базируются на интеграции задач менеджмента качества и управления жизненным циклом изделия. В частности, было установлено, что подход, основанный на планировании всех процессов в организации, позволяет создать возможность для эффективного управления ими, а мероприятия, осуществляемые по принципу «проект за проектом», приводят к достижению более высокого уровня результатов деятельности.

В целом, проведенный анализ показал, что цикл Деминга PDCA и его аналоги - это инструмент, который позволяет достичь больших результатов в совершенствовании деятельности организации. Однако, необходимо учитывать современные тенденции и требования рынка и использовать новейшие подходы и методологии, в том числе, ориентироваться на модернизированный цикл EPDCA, применимым в задаче повышения качества управления сложным техногенным комплексом высокотехнологического предприятия.

Во второй главе проведена оценка возможности модернизации цикла PDCA и предложен новый подход к управлению процессами системы менеджмента качества машиностроительных производств, основанный на развитии цикла Деминга и приведения его к циклу PDDCA (Plan-Design-Do-Check-Act).

Выполненные исследования свидетельствуют, что сетцентрический подход возможен и активно используется в управлении системами и процессами. В этом контексте американский ученый Джон Бойд предложил динамичный механизм, основанный на алгоритме многократного повторения действий (OODA) или теории, известной как «Observe (наблюдай) - Orient (ориентируйся) - Decide (решай) - Act (действуй)». Этот механизм может успешно использоваться на каждом из этапов, определяемых принципом Деминга PDCA, который в англоязычных изданиях часто называется циклом Бойда (Boyd Cycle).

В результате анализа цикла Деминга как важного инструмента управления процессами системам менеджмента (СМ), включая интегрированные системы менеджмента (ИСМ), констатирована целесообразность использования приведения цикла PDCA к виду PDDCA (Plan-Design-Do-Check-Act). Это позволяет использовать необходимые данные для управления процессами и достичь преимуществ в работе на машиностроительных предприятиях. Предложенный цикл также применим в целях адаптивного управления несоответствиями и отличается от других методов гибкой адаптивной связью и динамическим изменением приоритетов для технологических процессов, выявленных на стадии управления обратной связи.

Предложенная инновационная система включает многочисленные информационные системы, автоматические системы контроля изделий и

компьютеризированные системы, которые мониторят производственный процесс и собирают необходимые данные о состоянии продукции.

Более того, предложенный цикл является эффективным благодаря использованию цикла PDCA (Plan-Do-Check-Act) (Планирование-Действие-Проверка-Улучшение), который предполагает последовательное выполнение этапов системы на основе их улучшения. Применение компьютеризированных систем на этапах планирования, проектирования и реализации технологического процесса также является ключевым моментом достижения технического результата. Таким образом, система менеджмента качества, построенная на основе предложенного нами цикла PDDCA обладает значительным потенциалом для оптимизации производственных процессов и повышения качества продукции, что сформулировано в ниже следующих преимуществах:

Предложенный цикл обеспечения результативности процессов PDDCA имеет преимущества перед исходным циклом PDCA в следующем:

1. В отличие от классического варианта цикла PDCA, который носит общий характер для всех видов деятельности, предложенная система направлена на обеспечение качества конкретного технологического процесса со всей его комплексностью и деталями, которые влияют на готовый продукт. В данную систему также включается планирование производства, разработка технологического процесса и деталей, производство, контроль и улучшение технологического процесса.

2. Одним из ключевых преимуществ предложенной системы является гибкая адаптивная связь на этапе планирования. Это позволяет динамически изменять приоритеты для технологического процесса и быстро реагировать на любые изменения в работе. Оперативная обратная связь на этапе улучшения также позволяет более эффективно корректировать процесс и повысить его результативность. Использование данного подхода исключает общность цикла PDCA, сосредоточившись на технологическом процессе обработки деталей. Это позволяет сосредоточиться на уникальных особенностях данного процесса, что приводит к повышению качества готового продукта.

Графически принципиальная возможность модернизации цикла PDCA представлена как очередность исполнения этапов цикла, Рисунок 1, а также алгоритм реализации цикла PDDCA в виде блок-схемы, Рисунок 2.

В ходе стадии «Планирование» производится разработка целей технологического процесса, которые необходимы для получения результатов в соответствии с требованиями заказчика. На этой стадии осуществляется планирование не только процессов, но и видов деятельности и мероприятий, необходимых для достижения результатов. Кроме того, на этапе принятия решений, как и на всем жизненном цикле, используется риск-менеджмент, что определяется требованиями

международных стандартов ISO 9001:2015 «Quality management systems. Requirements», ISO 31000:2018 «Risk management — Guidelines», а также в случае, обусловленном требованиями высокотехнологического предприятия, и национального стандарта ГОСТ РВ 0015-002-2020 «Система разработки и постановки на производство военной техники. Системы менеджмента качества. Общие требования».

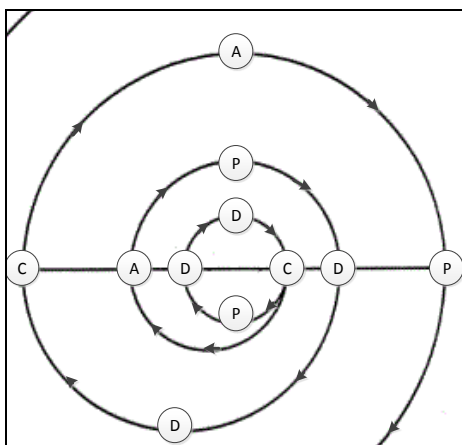


Рисунок 1 - Графическое представление цикла PDDCA

Усовершенствованный цикл PDDCA состоит из 5 этапов:

- Plan – Планирование;
- Design – Проектирование;
- Do - Производство;
- Check – Проверка;
- Act – Улучшение.

В случае выявления несоответствий на стадии «Улучшение» происходит быстрое управление доступными ресурсами и адаптивное управление для устранения проблем.

На стадии «Проектирование» определяются точные параметры элементов технологического процесса обработки деталей. На этой стадии происходит разработка технической и технологической документации на деталь, составляются планы, схемы технологического процесса. Далее в соответствии с созданной конструкторской и технологической документацией на деталь происходит ее обработка. Результат на этой стадии подвергается первичной оценке технологических процессов. Это подтверждено в ходе технологического процесса гибки труб машиностроительного производства, обоснованным циклом PDDCA.

На стадии «Производство» происходит реализация технологического процесса, разработанного на стадии «Проектирование», на оборудовании, регламентированном в технологической документации.

На стадии «Проверка» производятся действия по контролю показателей технологического процесса (в том числе, результативность,

эффективность процесса, оценка достижения критических пределов при оценке рисков) и параметров произведенной детали. Она необходима, чтобы установить соответствие между желаемыми и полученными результатами.

На последней стадии «Улучшение» совершаются действия, направленные на постоянное улучшение показателей технологического процесса на основе анализа результатов предыдущей стадии планирования. В этот момент корректируются предупреждающие действия и актуализируются планы, а также параметры процессов, позволяющие обеспечить эффективность процессов и качество продукции.

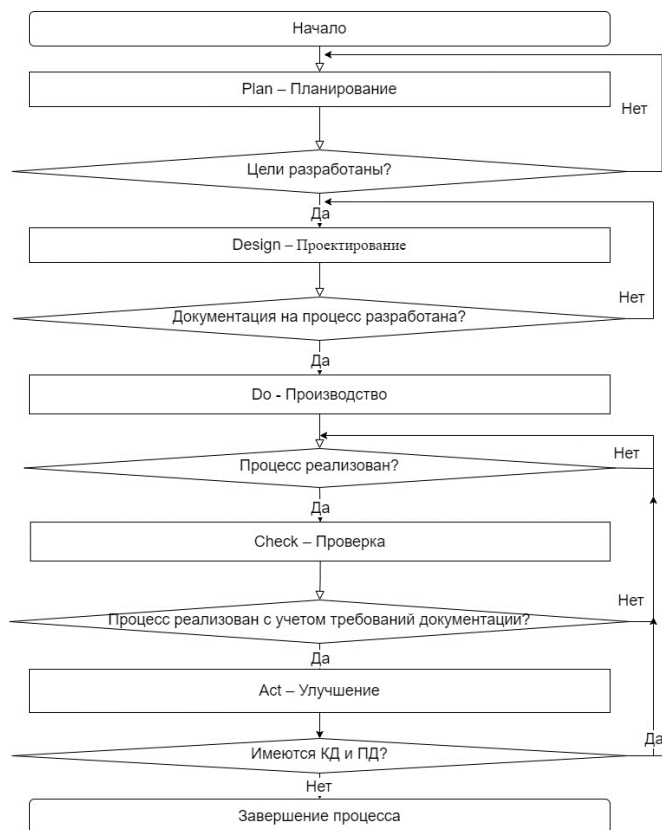


Рисунок 2 - Алгоритм реализации цикла PDDCA

Важным и неотъемлемым компонентом успешной реализации процесса является правильный учет рисков. Изменения системы, направленные на улучшение технологического процесса, должны базироваться не только на выявленных несоответствиях, но и учитывать потенциальные проблемы, которые могут возникнуть в будущем.

После успешной реализации корректирующих действий необходимо использовать полученный опыт, чтобы проводить изменения в будущем. Однако, если изменения окажутся неудачными, следует повторить цикл, и принять новые меры в части совершенствования системы менеджмента.

Одним из ключевых принципов является постоянное улучшение всей системы, которое можно представить в виде спирали, где каждый этап

включает планирование, проектирование, производство, контроль и улучшение. На каждом из этапов необходимо выявлять проблемные места технологического процесса и минимизировать возможные последствия на каждом последующем цикле. Это позволяет не только улучшить качество продукции, но и повысить эффективность работы системы в целом.

В рамках данного исследования был проведен анализ сходств и различий между циклом PDCA, триадой качества и спиралью качества Дж. Джурана с целью достижения поставленных задач.

Как известно, Д. Джуран предложил концепцию "триады качества", которая базируется на модели системы качества "спираль качества". Одним из главных принципов этой модели является постоянное улучшение всей системы в виде спирали. Именно этот принцип стал основой для создания алгоритма управления, предложенного в данном исследовании.

На этапе «Производство» происходит комплекс технологических действий по гибке труб при помощи специального оборудования, предусмотренного технической документацией.

На этапе «Проверка» проводятся измерения и испытания для оценки технологических параметров и показателей готовой продукции. В число используемых инструментов входят измерительные устройства и системы контроля, которые позволяют анализировать соответствие технологических характеристик и конструктивных особенностей изделия заданным параметрам.

На этапе «Улучшение» происходит системный анализ и корректировка процессов с учетом полученных результатов и обратной связи от потребителей. Предпринимаются меры по оптимизации всех фаз производственного цикла, внедрению новых материалов и технологий, а также проектированию предупредительных механизмов для уменьшения вероятности возникновения проблем деформирования трубы. Необходима постоянная оценка рисков и прогнозирование возможных вариантов развития ситуации. При успешной реализации корректирующих мероприятий необходимо использовать полученный опыт для улучшения процессов на дальнейшем уровне. В случае неудач цикл повторяется с внесением доработок в планирование изменений.

Предложенный новый подход к управлению процессами подтвержден разработанной архитектурой систем менеджмента качества, реализуемых в различных сферах производства и услуг, основанных на модернизации цикла Деминга в формате PDDCA, что для машиностроительного предприятия подтверждено на примере технологического процесса гибки труб.

В третьей главе описано обоснование применения предложенного модернизированного цикла PDDCA в целях совершенствования процессов в машиностроительном производстве. В соответствии с созданной

стратегией обеспечения качества системы менеджмента и организации процессов, основанной на современной версии цикла PDDCA, проведен анализ реального состояния ключевых этапов технологического процесса производства гибких труб. Было выявлено, что в производственных компаниях машиностроения используется эталонный подход. В эталонном методе для производства контрольной и рабочей оснастки в производственном процессе серийных изделий создаются эталонные конфигурации трубы.

В результате проведенного анализа причин возникновения брака в технологическом процессе, выполненные эталонным методом, с помощью диаграммы Парето было выявлено, что основными причинами бракованных изделий являются складки в местегиба, неточность формы, неточность размеров. Для устранения выявленных несоответствий в ходе технологического процесса гибки было внедрено современное и высокотехнологичное средство – автоматизированный производственный комплекс, оснащенный системой 3D-моделирования.

Для оценки применимости предлагаемого решения, а именно внедрения автоматизированного производственного комплекса, при реализации цикла PDDCA произведен расчет параметров технологического процесса гибки труб, что позволило сопоставить этапы цикла PDDCA технологическим этапам гибки труб и стало важным шагом в процессе достижения поставленной в данном исследовании цели (Рисунок 3).

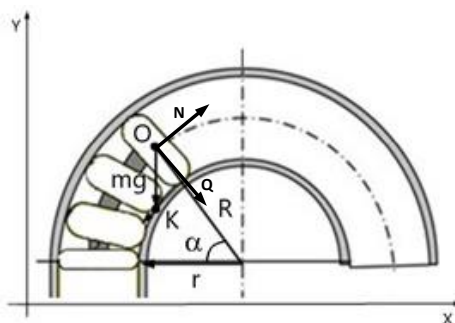


Рисунок 3 – Схема гибки труб, с указанием продольной (N) и радиальной (Q) сил.

R – радиус движения средней точки ролика дорна; O – средняя точка ролика дорна; K – точка соприкосновения ролика дорна и стенки трубы; r – радиус изгиба трубы; α – угол изменения положения ролика дорна при движении; X, Y – оси ординат.

Для определения линейных перемещений или деформаций вдоль продольной оси трубы (y), с которой совместим ось декартовой системы координат X, составлено дифференциальное уравнение движения.

Общий вид дифференциальных уравнений, построенных на основе уравнения Лагранжа второго рода имеет вид

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\delta E_K}{\delta \dot{\theta}} \right) - \frac{\delta E_K}{\delta \theta} = - \frac{\delta U}{\delta \theta}. \quad (1)$$

Кинетическая энергия при гибке труб вычисляется по формуле:

$$E_K = mv_0^2/2. \quad (2)$$

v_0 – скорость в точке O

Проекции скорости в точке O равны:

$$v_x = -R\omega_{1z}\sin\left(\frac{\pi}{2} + 1\right). \quad (3)$$

$$v_y = R\omega_{1z}\cos\left(\frac{\pi}{2} + 1\right). \quad (4)$$

$$v_0^2 = R^2\omega^2. \quad (5)$$

R – радиус движения средней точки ролика дорна; v_x, v_y – проекции скорости точки O на оси X, Y; v_0 – скорость в точке O

Угловая скорость в точке O равна:

$$\omega_{1z} = \frac{\dot{y}}{R\cos\alpha}. \quad (6)$$

Из вышеприведенного следует:

$$E_K = mv_0^2/2 = \dot{y}^2 C. \quad (7)$$

где C- константа.

Обобщенная сила в гибке труб равна:

$$Q = \frac{1}{\dot{y}} (-F\dot{y} + M\omega_{1z}). \quad (8)$$

При интегрировании уравнение приобретает вид:

$$\frac{\delta E_K}{\delta y} = \dot{y}C. \quad (9)$$

При вторичном интегрировании уравнение приобретает вид:

$$\ddot{y}C = Q. \quad (10)$$

Проведя двукратное интегрирование дифференциального уравнения при предварительно заданных начальных условиях (характеризующих координаты и скорости), мы определили деформацию (y), которая наблюдается вдоль продольной оси гибкой трубы.

В соответствии с условием сохранения объема при пластической деформации, материал подвергается деформациям знакового характера в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В выпуклой части изгиба трубы, в области максимального растяжения, поперечная деформация фактически отсутствует. Действительно, анализ формул показал, что изменение угла поворота ролика дорна непосредственно влияет на изменение продольной и радиальной сил (N и Q); при этом сила Q принимает большие значения, чем сила N, что, в свою очередь, генерирует значительное искажение профиля поперечного сечения гибкой трубы.

На основании произведенных расчетов определены критерии и условия гибки труб, при которых заготовке можно придать форму с изогнуто-плавными элементами без искажения профиля поперечного сечения гибкой трубы, что оказывается справедливым независимо от размеров сечения самой трубы.

При внедрении предложенного метода, основанного на модернизированном цикле PDDCA, возможно совершенствование технологического процесса гибки труб на этапе «Планирование».

Описываемый автоматизированный производственный комплекс состоит из станка с ЧПУ и 3D-сканера. Автоматизированный производственный комплекс изготовления узлов трубопроводов сложной конфигурации с применением 3D-моделирования состоит из:

- 1) многофункционального трубогибного станка с полностью автоматическими гибочными циклами CRIPPA;
- 2) оптической измерительной системы для труб TubeInspect.

На этапе «Проектирование» определяются числовые параметры элементов процесса гибки труб (такие, как время выполнения операции, параметры готового изделия и др.), проектируется конструкторская и технологическая документация на деталь, разрабатываются планы, схемы и алгоритмы процесса гибки труб.

В Таблице 1 представлены параметры заготовок труб до применения цикла PDDCA и после.

Таблица 1 – параметры заготовок труб до применения цикла PDDCA и после

№	Длина заготовки, мм	ПЗВ, мин	Время гибки, мин	Ср % бракованных изделий
<i>до применения цикла PDDCA</i>				
1	370	13	6	33,79
2	650	14	17	30,77
3	500	14	16,9	30,16
<i>после применения цикла PDDCA</i>				
1	460	1	0,8	13,72
2	680	1	0,68	12,46
3	510	1	1,1	13,74

ПЗВ- подготовительно-заключительное время технологической операции.

Отметим, что в таблице 1 длины заготовок некоторых труб увеличились ввиду технологического аспекта применения нового оборудования.

Достигнутый результат подтвердил корректность применения модернизированного цикла PDDCA, базового принципа систем менеджмента качества, определяющий формирование процессно-ориентированного подхода, и непосредственно влияющий на организацию технологического процесса гибки труб на этапах «Планирование» и «Проектирование». Как подтверждено Актом внедрения, на реальном предприятии применение цикла PDDCA обусловило внедрение автоматизированного производственного комплекса изготовления узлов трубопроводов сложной конфигурации с применением 3D-моделирования. Новый подход привел к снижению брака и затрат материалов, а также эффективному выполнению технологических операций.

Представленная статистика свидетельствует о результативности применения нового цикла PDCA и автоматизированного гибочного станка для улучшения одного из ключевых процессов машиностроительного производства.

В четвертой главе описано обоснование применения предложенного модернизированного цикла PDDCA в целях совершенствования процессов на примере цифровизации процессов проектного управления и процессов высшего образования. Правомерность и корректность реализации цикла PDDCA подтверждена в ходе применения проектного управления при внедрении концепции «Всемирной инициативы CDIO» в образовательных процессах. Концепция CDIO предполагает непрерывное совершенствование качества, что обеспечивается реализацией цикла PDDCA и является необходимым условием успешной реализации концепции CDIO. При этом, нами было проведено сопоставление подходов CDIO и PDCA с анализом одного из стандартов CDIO, который определяет оценку соответствия учебной программы заданным стандартам. В контексте нашей тематики сформирован перечень результатов обучения CDIO Syllabus, который является документом, призванным детально описать объекты (цели и задачи) и результаты обучения, соответствующие концепции CDIO. Приложенный Акт внедрения подтверждает универсальность научно-методического подхода на основе цикла PDDCA при реализации концепции CDIO в образовательных учреждениях высшего образования. Внедрение усовершенствованного цикла Деминга в систему проектного управления с применением итерационной модели позволило выявить потенциал для оптимизации расходов на всех этапах жизненного цикла проекта: от составления учебного плана до внедрения технологии в процессы.

Внедрение усовершенствованного цикла Деминга в рамках каждого спринта, т.е. короткого временного интервала, в течение которого scrum-команда выполняет заданный объем работы, способствует снижению рисков встречи с неожиданными ситуациями, которые могут привести к значительным затратам на перераспределение ресурсов в будущем. Планирование каждого спринта заранее позволяет установить четкие цели и сформулировать задачи, что способствует ускорению процессов разработки и тестирования и созданию оптимальных условий для экономии ресурсов и времени.

В результате проведенного исследования был сделан важный вывод - невозможность использования улучшенного цикла Деминга в некоторых моделях управления проектами обусловлена не изменениями в самом цикле, а зависит от конкретной выбранной модели. Однако, там, где применение цикла PDDCA обосновано и уместно, отсутствует необходимость в переобучении сотрудников, адаптации к изменившейся

организационной структуре и жизненным циклам проектов. Это условие позволяет успешно внедрять усовершенствованный цикл Деминга в организациях и в проектах, которые уже находятся в работе, обеспечивая преимущество применения PDDCA на практике.

Таким образом, реализация цикла PDDCA в рамках концепции CDIO подтверждает, что цикл PDDCA является эффективным средством оптимизации и повышения качества обучения за счет управления знаниями, компетенциями, адаптивного управления для выявления несоответствий, анализа рисков и непрерывного улучшения процесса обучения на всех уровнях в высшем инженерном образовании.

В результате внедрения усовершенствованного цикла Деминга и концепции CDIO были изменены ряд документированных процедур в ИРНИТУ. Учебный план по программе бакалавриата 27.03.02 «Управление качеством» был дополнен курсом «Введение в инженерную деятельность» и другими нововведениями. Новый подход был применен к планированию и анализу, что позволяют развивать инновационную деятельность ВУЗа. Таким образом, использование улучшенного цикла Деминга становится ключевым фактором для достижения высоких результатов обучения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Сформирован научно-методический подход и подтверждена принципиальная возможность модернизации цикла PDCA, а также разработан алгоритм его реализации в виде блок-схем или очередности исполнения этапов цикла. Предложен анализ совершенствования этого цикла при обращении к известным инструментам менеджмента.

2. Доказана универсальность разработанного подхода совершенствования процессов на основе развития цикла PDCA и проведена статистическая оценка результатов на примере производств изделий машиностроительного предприятия, в том числе, технологического процесса гибки труб, а именно:

- Возможность уменьшения длины заготовок труб нескольких типоразмеров;
- Значительное сокращение времени выполнения ПЗВ - до 9 раз меньше по сравнению с ручным методом;
- Сокращение времени технологического процесса на 14 минут в среднем;
- Снижение уровня брака данного технологического процесса на 17,25% по сравнению с ручным методом;
- Расчетный совокупный экономический эффект от внедрения цикла PDDCA в процессе гибки труб составил 570 тысяч рублей.

3. Продемонстрирована универсальность предложенного метода совершенствования системы менеджмента качества за счет нового подхода к циклу Деминга на примере процессов проектного управления,

образовательных процессов. Показано, что разработанный комплексный механизм при внедрении элементов цифровизации позволяет повысить результативность процессов проектного управления с применением итерационной модели, что позволило выполнить анализ и выявить оптимизационный потенциал проекта для систем, основанных на Agile-методологии, в т.ч., таких систем, как SCRUM, и отличающихся от известных моделей высокой гибкостью и адаптивностью команд, а также образовательных процессов за счет управлением знаниями, компетенциями и адаптивного управления выявленными несоответствиями, рисками в ходе обучения, непрерывным и систематическим улучшением образовательного процесса на ступенях высшего инженерного образования.

4. Доказана правомерность применения модернизированного цикла Деминга в системах менеджмента, реализуемых на основе требований стандартов ИСО 9001, ИСО 14001, ИСО 45001 и других стандартов, составляющих интегрированные системы менеджмента (ИСМ).

5. Разработанные цикл и методическое обеспечение менеджмента качества внедрены:

- в систему менеджмента качества Улан-Удэнского авиационного завода, входящего в холдинг АО «Вертолёт России»;
- в учебный процесс кафедры «Автоматизации и управления» в следующих дисциплинах: «Управление процессами», «Средства и методы управления качеством» Учебного Плана бакалавриата 27.03.02 «Управление качеством в производственно-технологических системах»; а также «Моделирование и управление бизнес-процессами» Учебного Плана магистратуры 27.04.02 «Управление качеством. Интегрированные системы менеджмента и инжиниринг» в ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Подтверждено соответствующими актами внедрения.

6. Предложена архитектура систем менеджмента качества, реализуемых в различных сферах производства и услуг, основанных на модернизации цикла Деминга в формате PDDCA.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки исследования: дальнейшее развитие темы диссертационного исследования может быть связано с разработкой и развитием предложенных моделей, подходов и инструментов совершенствования системы менеджмента качества организаций разных сфер экономики РФ.

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах из Перечня ВАК РФ:

1. Кунаков, Е.П. Применение новых подходов к циклу Деминга / Е.П. Кунаков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова – 2022.- №1. – С. 61-70.

2. Кунаков, Е.П. Применимость новых подходов к циклу PDCA в задаче совершенствования производственных и образовательных процессов / Е.П. Кунаков // Качество. Инновации. Образование. – 2021. - №4(174). - С. 105-110.

3. Адаптация методов и моделей проектного управления к усовершенствованному циклу PDCA / Е.П. Кунаков, П. А. Лонcich, А.В Кокшарев, А.Е. Гулов // Качество. Инновации. Образование. – 2021. - №4(174). – С. 42-48.

4. Анализ цифровых технологий, применяемых в машиностроительной отрасли / Е.П. Кунаков, П.А. Лонcich, Е.И. Коршунова, И.В. Ковригина // Вестник иркутского государственного технического университета – 2018.- №9 (40). – С. 42-49.

Публикации в изданиях, входящих в наукометрические базы данных

Scopus и Web of Science:

5. Information security methods application based on the digital management approaches and the deming cycle in improving the modern production's processes / E.P. Kunakov, P.A. Lontsikh, I.I. Livshitz, N.P. Lontsikh, A.V. Vladimirtsev // Proceedings of the 2020 IEEE International Conference IT&QM&IS – 2020. - P. 123-126.

6. Improving the Process of Bending Pipes with Digital Technology/ E.P. Kunakov // Proceedings of the 2019 IEEE International Conference IT&QM&IS – 2019. - P. 136-139.

7. Statistic Method for Life-Cycle Processes of Digital Enterprises within Integrated Management Systems / E.P. Kunakov, P.A. Lontsikh, I.I. Livshitz, V.V. Semenov, Y.V. Kibirev // Proceedings of the 2019 IEEE International Conference IT&QM&IS – 2019. - P. 37-41.

8. Improving the Activities of Machine-Building Enterprises Through the Use of Digital Technologies / E.P. Kunakov, P.A. Lontsikh, I.I. Livshitz, Lontsikh N.P., L.I. Tatarnikova // Proceedings of the 2019 IEEE International Conference IT&QM&IS – 2019. - P. 145-148.

9. Improvement of the Technological Process of Pipe Bending with the Introduction of Digital Technologies and Information Security Requirements / E.P. Kunakov // Proceedings of the 2018 IEEE International Conference IT&QM&IS – 2018. - P. 225-229.

10. Improvement of the Activities of Machine-Building Enterprises Through the Use of Digital Technologies / E.P. Kunakov, P.A. Lontsikh, I.I. Livshitz, N.P. Lontsikh, E.Y. Golovina // Proceedings of the 2018 IEEE International Conference IT&QM&IS – 2018. - P. 233-237.