

Кузовкин Д.А.

Независимый исследователь

**МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРЕЗ ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
СИСТЕМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА**

Аннотация: В статье представлена концептуальная модель цифровой трансформации промышленного предприятия, основанная на внедрении интеллектуальных систем контроля качества (ИСКК). Показано, что интеллектуализация системы менеджмента качества (СМК) является фундаментальным условием повышения эффективности производственных процессов, снижения издержек и обеспечения предиктивного управления качеством. Обосновывается необходимость перехода от традиционных методов контроля к цифровым решениям, основанным на машинном зрении, роботизированных системах и ИИ-аналитике. В работе выделены формализованные уровни цифровой трансформации, определены критерии зрелости СМК и условия успешного внедрения ИСКК. Предложенная модель является многоуровневым механизмом перестройки производственных и управленческих процессов, направленный на формирование цифровой СМК и достижение стратегических, экономических и технологических эффектов.

Ключевые слова: цифровая трансформация; интеллектуальные системы контроля качества; система менеджмента качества; цифровая СМК; автоматизированный контроль качества; ИСКК.

Kuzovkin D.A.

Independent researcher

**MODEL OF DIGITAL TRANSFORMATION OF INDUSTRIAL
ENTERPRISES THROUGH THE IMPLEMENTATION OF
INTELLIGENT QUALITY CONTROL SYSTEMS**

Abstract: The article presents a conceptual model of the digital transformation of an industrial enterprise based on the implementation of intelligent quality control systems (IQCS). It is demonstrated that the intellectualization of the quality management system (QMS) is a fundamental prerequisite for improving the efficiency of production processes, reducing costs, and ensuring predictive quality management. The study substantiates the need to move from traditional control methods to digital solutions based on machine vision, robotic inspection systems, and AI-driven analytics. The paper identifies formalized levels of digital transformation, defines QMS maturity criteria, and specifies the conditions required for the successful deployment of IQCS. The proposed model represents a multi-level mechanism for restructuring production and managerial processes aimed at forming a digital QMS and achieving strategic, economic, and technological effects.

Keywords: digital transformation; intelligent quality control systems; quality management system; digital QMS; automated quality control; IQCS.

Цифровая трансформация промышленного сектора выступает определяющим направлением развития современных предприятий, осуществляющих функционирование в условиях растущей конкуренции и усложнения производственных процессов, а также сталкивающихся с необходимостью обеспечения высокого уровня качества продукции и его непрерывного совершенствования. Стоит отметить, что на протяжении последних лет за цифровизацией закрепились позиции структурного фактора промышленного развития, трансформационное воздействие которого привело к формированию новых требований к управлению качеством, организации производственных циклов и построению систем менеджмента качества (далее – СМК). В частности, как указывает И.В. Абрамов, цифровые технологии напрямую сказываются на производственных процессах; под влиянием цифровых технологий происходит постепенный перевод СМК на интеллектуальные системы

управления, основной принцип работы которых связан с обработкой огромных массивов информации [1]. Происходит отказ от выборочных и ситуативных форм контроля в сторону более зрелых и организационно совершенных. По мнению Ю.А. Орловой, И.Б. Репиной и О.А. Чудновой, современные методы контроля качества становятся более эффективными при переходе к цифровым и автоматизированным подходам, которые, как минимум, ускоряют процессы в управлении качеством за счет их осуществления не человеком, а роботизированными системами (что, соответственно, сказывается на количестве рисков, допускаемых ошибок, исключении формального отношения и др.) [3; 4].

Закономерно, все более распространенный и трендовый характер приобретают вопросы внедрения интеллектуальных систем контроля качества (далее – ИСКК) как наиболее совершенной модели цифровой трансформации СМК предприятия. Причиной тому послужило и то, что на современном этапе происходит расширение потребностей производителей в системах машинного зрения, роботизированного контроля, автоматизированной диагностики и предиктивной аналитики. Спрос на соответствующие технологии возрастает. Тем самым постепенно промышленность переходит на новые подходы к управлению производственными процессами, опосредованные цифровыми технологиями, что сказывается на стратегических показателях эффективности производства и уровне его издержек [5]. Введение ИСКК становится связующим звеном между цифровой трансформацией и развитием СМК, поскольку ИСКК позволяют выявлять дефекты на ранних стадиях, автоматически анализировать отклонения, осуществлять прогнозирование отказов оборудования и формировать рекомендации по оптимизации процессов (при этом действуют с минимальным участием человека, подходя для непрерывных производств с полным производственным циклом) [8]. Таким образом, очевидно, что цифровая трансформация промышленного предприятия невозможна без

модернизации его СМК, в чем важным направлением становится её интеллектуализация и развитие за счет внедрения цифровых технологий.

Целью исследования является построение концептуальной модели цифровой трансформации промышленного предприятия через внедрение ИСКК, а также определение её структурных компонентов.

Материалами к исследованию выступили открытые данные научных статей и отчеты о состоянии рынка автоматизированного индустриального контроля качества, на основании теоретического, сравнительного анализа, обобщения, синтеза и систематизации которых были выделены элементы модели цифровой трансформации промышленного предприятия через внедрение ИСКК, а также определены компоненты такой системы.

Отметим, что дополнительным фактором, обосновывающим интерес к внедрению ИСКК на промышленных предприятиях, является динамика современного рынка автоматизированного индустриального контроля качества, который, согласно исследованиям Market Research Future, к 2035 году достигнет значений свыше 50,51 млрд. долл. США при среднегодовых темпах роста в 8,12% (см. Рис. 1):

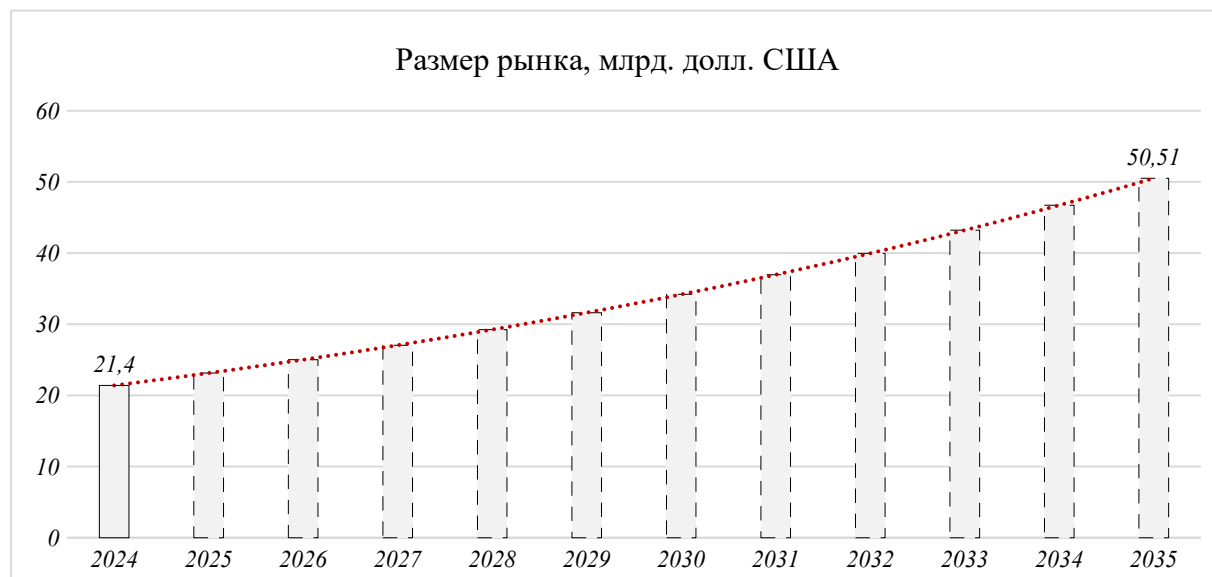


Рис. 1. Динамика глобального рынка автоматизированного индустриального контроля качества (прогноз), составлено автором по данным [5].

Опираясь на рис. 1, отметим, что сегмент автоматизированного контроля качества входит в число наиболее быстрорастущих направлений индустриальных цифровых технологий. Рост рынка обусловлен усложнением производственных процессов, повышением требований производителей к точности и мониторингу параметров продукции, дефицитом квалифицированного персонала, повышением стоимости ошибок и дефектов, а также фундаментальной трансформацией производственных моделей в соответствии с принципами Индустрии 4.0; по данным отчета, наиболее востребованными оказываются системы машинного зрения, роботизированные и мехатронные комплексы контроля, а также системы аналитики и предиктивной диагностики, действующие на базе технологий искусственного интеллекта (далее – ИИ). С функциональной точки зрения обоснованность внедрения ИСКК определяется тем, что цифровые технологии в СМК позволяют фиксировать параметры качества в режиме реального времени, оперировать большими массивами данных при оценке качества, автоматически выявлять отклонения от нормы, прогнозировать вероятность дефектов, а также оптимизировать процесс на основе аналитики и применения ИИ [5].

Закономерно, возникает потребность в организации цифровой трансформации СМК промышленных предприятий с упором на их интеллектуализацию; интеллектуализация при этом становится одной из завершающих стадий в структуре формализованных уровней цифровой трансформации промышленного предприятия. Так, по справедливым замечаниям И.В. Абрамова [1] и В.С. Баракова [2], результативность цифровой трансформации достигается лишь при учете всех уровней зрелости организации и при переходе к новому формату управления производством, в котором основным ресурсом становятся данные. С учетом положений работ N. Chen, S. Yang, L. Li [7], R. Figliè и соавт. [8], исследований российских ученых по вопросам цифровизации контроля

качества [1; 4; 6], можно выделить пять формализованных уровней цифровой трансформации, отражающих последовательность технологических изменений на промышленном предприятии (см. Рис. 2).

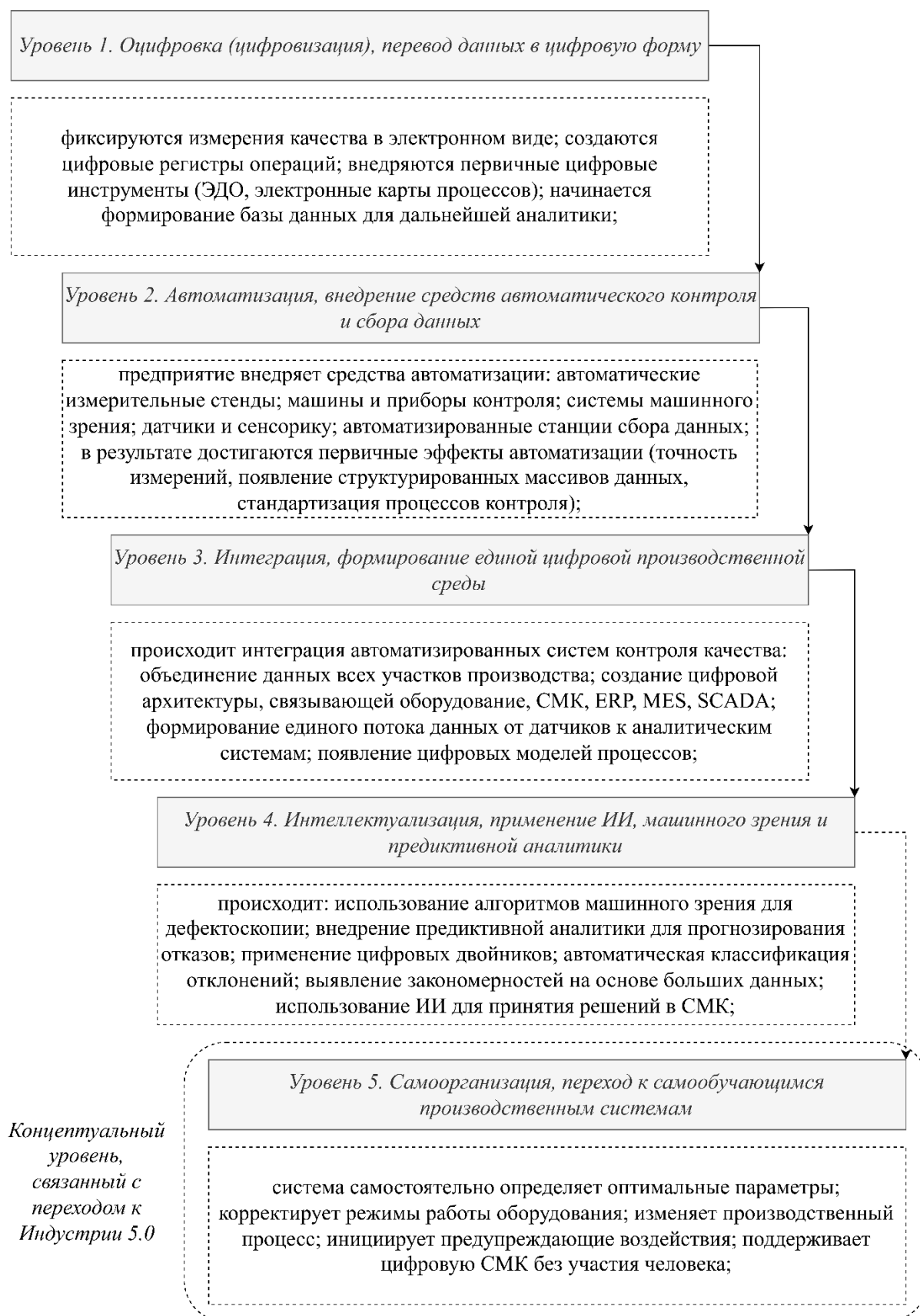


Рис. 2. Формализованная структура этапов процесса цифровой трансформации промышленного предприятия при переходе на ИСКК, составлено автором по данным [4; 7; 8 и др.].

Обращаясь к рис. 2, отметим, что у каждого из уровней цифровой трансформации промышленного предприятия при переходе на ИСКК встает собственный спектр специфических задач. Например, уровень цифровизации предполагает создание цифрового потока данных, исключающих потери информации, и направленных, напротив, на их структурированный сбор, хранение и дальнейшее использование. На втором уровне интеграции расширяются за счет точечного ввода систем; систематизация данных, их автоматический сбор и устранение человеческих ошибок создают минимально необходимый базис для создания единой цифровой среды (третий уровень) и её последующей интеллектуализации (четвертый уровень). Последняя предполагает, что промышленное предприятие переходит к концепции сквозной прослеживаемости качества, при которой каждая операция оставляет цифровой след, а информация поступает в реальном времени; постепенно предприятие вводит и совершенствует системы предиктивной аналитики, управления рисками, вариативностью и отклонениями. Соответственно, зрелую организацию по степени цифровой трансформации отличает ряд позитивных эффектов, связанных с повышением эффективности процессов в СМК, улучшением непосредственно метрик качества, а также сокращением операционных рисков, повышением конкурентоспособности предприятия [3; 7; 8].

Очевидно, что необходимость внедрения ИСКК для промышленных предприятий возникает на стыке синергии задач управления качеством и возможностей цифровых технологий. В пользу внедрения ИСКК играют и особенности современных производственных процессов на промышленных предприятиях, которые отличает:

- многообразие технологических параметров, что формирует потребность в их постоянном мониторинге;
- стремление к повышению точности операций; поскольку отклонения измеряются в микро- и нанометрах, то все чаще применяются именно цифровые решения;
- увеличение вариативности совмещенных процессов, особенно при производстве, соответствующим принципам Agile;
- повышение скорости выпуска при одновременном соблюдении стандартов качества;
- минимизация допускаемых дефектов до уровня «ноль дефектов».

Одна из основных причин, обосновывающих внедрение ИСКК, заключается в возможности осуществлять 100% контроль продукции и процессов в реальном времени. Система ИСКК в таком случае представляется в виде непрерывного потока данных от датчиков и камер с автоматической фиксацией всех отклонений, исключением субъективности человека и фиксированием трендов и ранних признаков дефектов. У каждого изделия формируется цифровой след, который при необходимости может быть изучен более детально (например, при выявлении брака или отклонений от заданных параметров). Нередко создаются цифровые двойники производства, моделирование параметров которых позволяет управлять качеством на производстве при разных параметрах внешних и внутренних факторов. Соответственно, у ИСКК выделяются и конкретные экономические эффекты, связанные со снижением затрат на повторный выпуск переделанной продукции, минимизацией простоев, увеличением общей производительности, сокращением расходов на входной контроль и сроков производства в целом.

Также стоит указать, что процесс формирования ИСКК предполагает достижение определенного уровня зрелости СМК; в целом процесс

достижения высокой зрелости можно представить в виде пяти этапов развития СМК промышленного предприятия:

1. Документированная СМК, состоящая из регламентов, протоколов, контрольных листов; процессы в ней фиксируются вручную (начальная и входная точка развития СМК и её цифровизации).

2. Стандартизированная СМК, которую отличают унифицированные процедуры, периодический анализ; в ней присутствует статистическое управление качеством.

3. Процессно-ориентированная СМК, в которой процессы измеряются, анализируются, имеются постоянно отслеживаемые показатели качества.

4. Интегрированная СМК, предполагающая частичное участие цифровых систем, наличие автоматизированных участков контроля, синхронизации данных или первичных механизмов их сбора через информационные и цифровые технологии.

5. Цифровая СМК, которая обеспечивает контроль качества на предприятии в реальном времени, в более развитом варианте с ИИ-аналитикой, предиктивными моделями, цифровыми двойниками производства и т. п.

Здесь важно подчеркнуть, что только уровни 4, 5 обеспечивают возможность эффективного внедрения ИСКК; также предприятие должно соответствовать определенным критериям цифровой трансформации СМК, которые, по мнению X. Liu, S. Hong, Z. Su, сконцентрированы вокруг вопросов хранения данных, обеспечения доступа к ним и эффективного использования [9]. Фактически для начала процесса трансформации СМК с последующим внедрением ИСКК предприятие должно обладать:

– во-первых, цифровой инфраструктурой, состоящей из датчиков, камер, средств измерений, сетей передачи данных с высокой пропускной способностью;

- во-вторых, стандартизированными процедурами качества (развитая и зрелая система СМК), чтобы автоматизация не воспроизводила хаотичные мероприятия и процедуры;
- в-третьих, единым информационным пространством, которое связывает ERP, MES, SCADA, системы контроля, управления производством и др.;
- в-четвертых, готовностью кадров (подготовка инженеров, специалистов по качеству и цифровых аналитиков) и укомплектованием штата сотрудников;
- в-пятых, обязательной поддержкой руководства, поскольку цифровизация СМК является стратегическим и нередко ресурсоемким проектом изменений.

Таким образом, при соответствии всем представленным условиям, инициируется процесс цифровой трансформации СМК с упором на ранее представленные формализованные этапы; постепенно происходит оцифровка данных и процессов контроля, их автоматизация, интеграция и последующая интеллектуализация. Основу цифровой трансформации промышленного предприятия на основе внедрения ИСКК представляет модель (см. Рис. 3).

Предложенная модель цифровой трансформации промышленного предприятия, основанная на внедрении ИСКК, представляет собой многоуровневый механизм перестройки производственных и управленческих процессов, который объединяет технологические решения, управленческие методы и принципы современного качества, развивается как процесс перехода от традиционной к интеллектуальной системе управления производством и качеством.

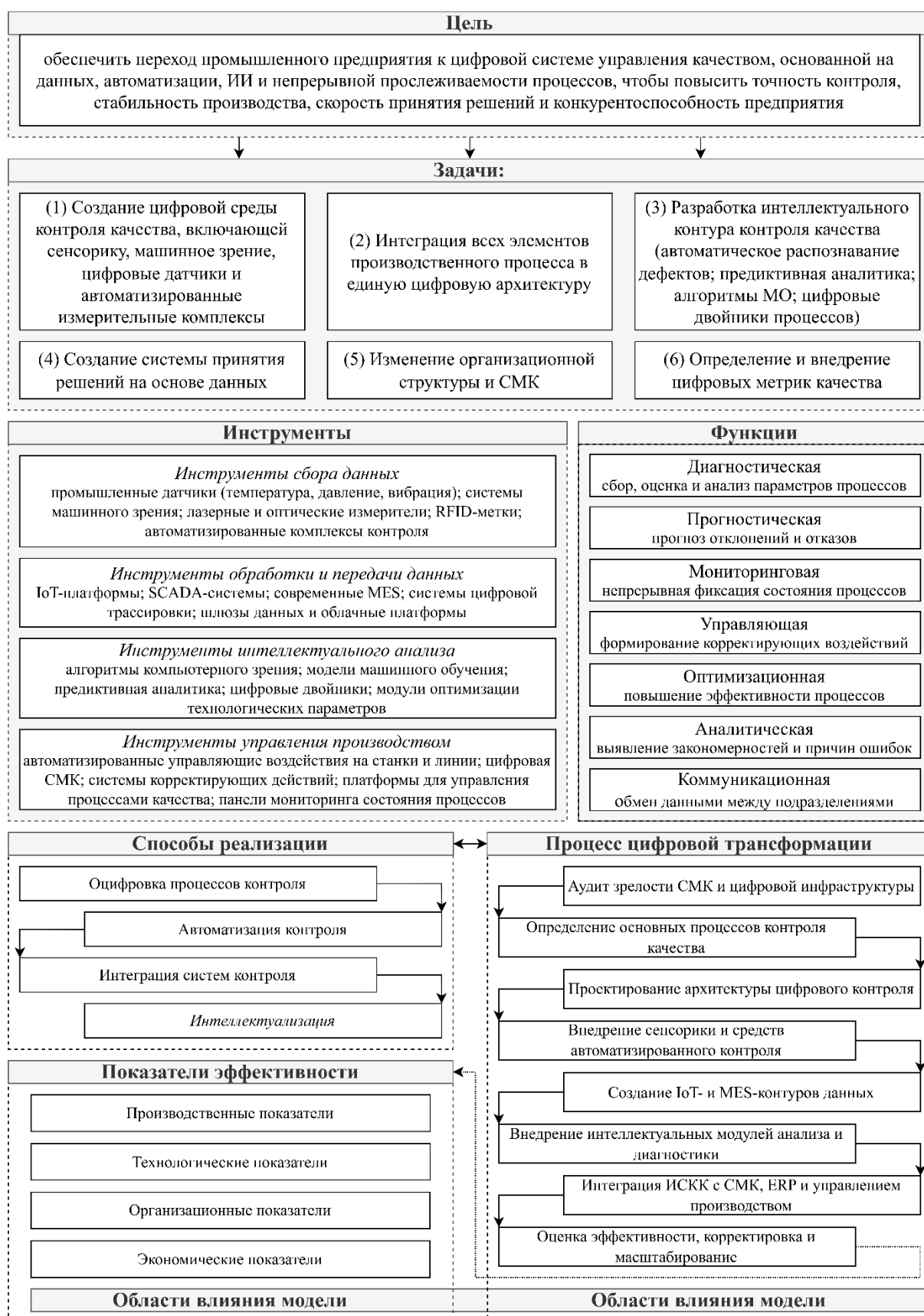


Рис. 3. Модель цифровой трансформации промышленного предприятия через внедрение ИСКК, разработано автором.

Практическая обоснованность предложенной модели заключается в создании эффекта сквозной трансформации, поскольку модель раскрывает обоснованные на теоретическом уровне процессы, способы, показатели эффективности и области влияния цифровой трансформации промышленного предприятия на его СМК и формирование ИСКК. Совокупная реализация данных элементов модели обеспечивает инициацию ряда эффектов (Табл. 1):

Табл. 1. Эффекты сквозной цифровой трансформации при внедрении модели, составлено автором.

№	Группа эффектов	Проявления
1	Эффекты устранения разрывов в данных и процессах	Ранее данные контроля могли быть разрозненными и неструктурированными. Модель формирует единый контур управления, основанный на цифровых технологиях, что повышает точность, ускоряет реакцию на дефекты, снижает трудоемкость контроля
2	Эффекты перехода к предиктивному управлению	Контроль и процессы переводятся в прогнозируемый характер, что особенно важно в высокоточных производствах
3	Эффекты повышения уровня зрелости СМК	Модель формирует цифровую СМК (e-QMS), в которой процессы прозрачны, решения принимаются на основе данных, улучшения происходят непрерывно и без остановки производства
4	Эффекты экономической выгоды	Внедрение ИСКК снижает потери от брака, стоимость переделки, затраты на проверку, риски остановок оборудования
5	Эффекты ускорения производственных циклов	Ускорение контроля приводит к ускорению корректировок, что, в свою очередь, продуктивно влияет на скорости выполнения заказов
6	Стратегические эффекты	Модель формирует более стабильное и неподверженное внешней и внутренней динамике производство, способное изменяться в зависимости от условий работы промышленного предприятия

Очевидно, что предложенную модель отличают преимущества комплексности, масштабируемости (ввиду включения всей структуры

процессов цифровой трансформации и развития СМК), интеграции, обоснованности ввиду ориентации на данные, а также прогнозирования.

Таким образом, проведенное исследование доказывает, что ИСКК формируют основу для перехода от традиционного контроля качества к интеллектуальному управлению производством, обеспечивают высокую точность инспекций, автоматизацию анализа данных, минимизацию человеческого фактора и возможность распределенного контроля на всех стадиях жизненного цикла продукции. Тем самым смеем утверждать, что цифровые технологии являются фундаментом повышения эффективности внутреннего контроля и общей конкурентоспособности производства. Именно поэтому следует отметить, что внедрение ИСКК выступает одним из фундаментальных шагов в развитии современного промышленного предприятия, которое формирует технологический базис для перехода к интеллектуальному производству, ориентированному на предиктивное управление, инновационность и стратегическое развитие.

Использованные источники:

1. Абрамов И.В. Проблемы и перспективы цифровизации промышленных предприятий с использованием аддитивных технологий // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15. – № 2. – URL: <https://esj.today/PDF/69ECVN223.pdf> (дата обращения: 14.11.2025).
2. Бараков В.С. Цифровая трансформация промышленных предприятий и экономический рост // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. – 2023. – Т. 25. – № 4. – С. 90–103. – DOI 10.15688/ek.jvolsu.2023.4.8.
3. Зайковский В.Э., Карев А.В., Малик А.А., Штайгер М.А. Риски цифровой трансформации промышленного предприятия // Проблемы анализа риска. – 2021. – Т. 18. – № 5. – С. 48–55. – DOI 10.32686/1812-5220-2021-18-5-48-55.

4. Орлова Ю.А., Репина И.Б., Чуднова О.А. Цифровая трансформация методов и средств контроля качества // Компетентность. – 2022. – № 4. – С. 22–25. – DOI 10.24412/1993-8780-2022-4-22-25.
5. Рынок автоматизированного промышленного контроля качества [Электронный ресурс] // Market Research Future. – URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/automated-industrial-quality-control-market-27349> (дата обращения: 13.11.2025).
6. Сурженко М.И. Цифровизация процессов управления качеством на предприятии // Молодой ученый. – 2025. – № 17 (568). – С. 364–366.
7. Chen N., Yang S., Li L. Research on the Influence of Digital Transformation on Enterprise Internal Control Quality // Journal of Global Information Management. – 2023. – Vol. 31. – Issue 6. – P. 1–21. – DOI 10.4018/JGIM.321187.
8. Figliè R., Amadio R., Tyrovolas M., Stylios Ch., Paśko Ł., Stadnicka D., Carreras-Coch A., Zaballos A., Navarro J., Mazzei D. Towards a Taxonomy of Industrial Challenges and Enabling Technologies in Industry 4.0 [Электронный ресурс]. – DOI 10.48550/arXiv.2211.16563. (дата обращения: 14.11.2025).
9. Liu X., Hong S., Su Z., Zhou Y. The Impact of Digital Transformation on High-Quality Development of Manufacturing Enterprises: An Integrated Perspective on Efficiency and Social Responsibility // Mathematics. – 2025. – Vol. 13. – Article 815. – DOI 10.3390/math13050815.