

Для цитирования

Бульба Е.П. Прогнозное моделирование СМК организации / III Научно-практическая конференция «Стандартизация: траектория науки», Москва, 15 октября 2025 года // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 6(87). С. 309–315.

УДК 005.6

ПРОГНОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СМК ОРГАНИЗАЦИИ

Бульба Е.П., аспирант кафедры 104 «Технологическое проектирование и управление качеством» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, инженер отдела СМК, ПАО «Яковлев», Москва

Рассматривается применение прогнозного моделирования для повышения эффективности системы менеджмента качества (СМК) организации в рамках концепции цифрового двойника. Рассматривается методология построения прогностических моделей, описываются ключевые этапы. Особое внимание уделяется интеграции моделей с данными в реальном времени для адаптивного управления и непрерывного улучшения СМК. Представлены возможности визуализации результатов прогнозирования и анализа через интерактивные дашборды цифрового двойника, а также формирования отчетов для менеджмента с целевыми значениями и рекомендациями. Показано, что прогнозное моделирование обеспечивает переход к проактивному управлению качеством, позволяя предвидеть проблемы и оптимизировать процессы до возникновения несоответствий.

Ключевые слова: система менеджмента качества (СМК), прогнозное моделирование, цифровой двойник, анализ данных, дашборд, непрерывное улучшение, экспертная оценка.

PREDICTIVE MODELING OF ORGANIZATION'S QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

Bulba E.P., Postgraduate student of the Department 104 "Technological design and quality management", Aviation Institute (National Research University), Moscow, engineer of QMS Department, PJSC "Yakovlev", Moscow

This article explores the application of predictive modeling to enhance the effective-ness of an organization's Quality Management System (QMS) within the Digital Twin framework. The methodology for developing predictive models is examined, and key implementation stages are described. Special emphasis is placed on integrating models with real-time data to enable adaptive management and continuous QMS improvement. The capabilities for visualizing forecasting and analysis results through interactive Digital Twin dashboards are presented, along with generating management reports featuring target metrics and actionable recommendations. The study demonstrates that predictive modeling facilitates a shift toward proactive quality management, allowing organizations to anticipate issues and optimize processes before nonconformities arise.

Keywords: Quality Management System (QMS), Predictive Modeling, Digital Twin, Data Analysis, Dashboard, Continuous Improvement, Expert Assessment.

ВВЕДЕНИЕ

Прогнозное моделирование использует исторические данные и данные, получаемые в режиме реального времени для прогнозирования будущих тенденций в системе управления качеством, таких как потенциальные проблемы с качеством или неэффективность процессов, является частью концепции цифрового двойника, представленная в статьях [1, 2].

Например, прогнозирующие модели могут сигнализировать об увеличении числа дефектов на основе имеющихся данных о процессе, позволяя вносить преду-предительные коррективы. Это подтверждается исследованием в автомобильной промышленности, где модель машинного обучения, предсказывающая отказы оборудования, позволила перейти к упреждающему планированию ремонтов и снизить незапланированные простои [3]. По мере

развития возможностей прогнозирования эти модели становятся незаменимыми для поддержки постоянного повышения эффективности СМК.

Прогнозное моделирование играет решающую роль в непрерывной оценке СМК организации в рамках концепции цифрового двойника.

Развитие концепции цифрового двойника, рассматриваемое как интегрированная система для моделирования и управления на всех этапах жизненного цикла сложных технических систем, создает фундамент для его адаптации к задачам управления качеством. Актуальность его применения подтверждается активным внедрением в высокотехнологичных отраслях, таких как авиастроение, для решения задач прогнозирования состояния и продления срока службы объектов [4], что демонстрирует потенциал технологии для проактивного управления.

Анализируя исторические данные и применяя передовые методы статистики и машинного обучения, прогностические модели прогнозируют будущие результаты, выявляют потенциальные риски и предлагают стратегии улучшения. Эти модели улучшают процесс принятия решений, предоставляя представление о будущих результатах и гарантируя, что управление качеством будет проактивным, а не реактивным.

Целью исследования является разработка и научное обоснование методического подхода к построению прогнозных моделей в рамках цифрового двойника СМК. Данный подход направлен на создание инструментария для опережающего выявления рисков снижения качества на основе анализа исторических и оперативных данных, что обеспечивает переход к проактивному управлению и реализует принцип непрерывного улучшения СМК.

Основные компоненты прогнозных моделей для СМК

1. Определение ключевых показателей эффективности

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001–2015¹ организация должна определить ключевые показатели для оценки результативности процессов и управления СМК [3]. Эти показатели служат основой для непрерывного мониторинга, анализа и прогнозирования, обеспечивая соответствие стратегическим целям и стандартам.

Проблема объективного определения ключевых показателей для СМК является актуальной задачей, что подтверждается исследованиями, направленными на разработку многокритериальных методик их оценки, в том числе в научно-образовательных организациях [5].

Отбор показателей требует анализа целей организации, ключевых процессов СМК, а также их взаимосвязанности. Показатели могут быть количественными (например, объем экспорта) и качественными (удовлетворенность клиентов). Для их выявления применяют изучение профильных стандартов по области действия организации, внутренних документов и лучших практик; консультации с заинтересованными сторонами, такими как менеджеры по качеству, клиенты, владельцы процессов; анализ исторических данных организации для выявления значимых закономерностей. Сформированный перечень группируют по категориям для упрощения анализа.

Предлагаемый в работе подход к отбору и верификации показателей, включая экспертные оценки и статистический анализ, согласуется с принципами формирования релевантной системы ключевых показателей, обсуждаемыми в современных методиках оценки эффективности СМК [5].

Экспертная оценка и весомость

Экспертам предоставляются структурированные вопросники, в которых их просят оценить каждый показатель на основе заранее определенных критериев. Далее приведен пример заполнения элемента Анкеты опроса эксперта (рисю 1). В результате каждому показателю присваивается показатель весомости на основе экспертных оценок. Для этой цели используется шкала значений от 1 до 10.

¹ ГОСТ Р ИСО 9001–2015 Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартинформ, 2015. – 32 с.

После получения данных от всех экспертов, происходит расчет показателей весомости (1):

$$k_i = \frac{\bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{x}_i}, \quad (1)$$

где k – показатель весомости;

$\bar{x}_i$ – среднее арифметическое оценок экспертов по i -му показателю;

n – общее число показателей.

Эксперт –	АНКЕТА ОПРОСА ЭКСПЕРТА										Страница – из –
<i>Среднее время прохождения: 10 минут.</i> Инструкция: в каждой строке обвести <u>одно</u> число из столбца «Оценка», наиболее соответствующее каждому из показателей. Вопрос: для каждого показателя определите его важность для СМК организации по шкале от 1 до 10.											
№ п/п	Наименование показателя	Оценка									
Группа А «Удовлетворенность потребителей»											
1.	Количество полученных рекламационных актов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.	Количество полученных сообщений о неисправности продукции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.	Общее количество гарантийной продукции, по которой имелись отказы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.	Количество невосстановленной продукции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.	Количество поставленной продукции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6.	Стоимость гарантийной продукции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7.	Количество контрактов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8.	Количество несоответствий в эксплуатации на гарантийную продукцию	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9.	Доля продукции, получившей рекламацию	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10.	Доля невосстановленной продукции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11.	Достижение заданных требований по безотказности	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12.	Достижение заданных требований по ремонтпригодности	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13.	Динамика количества полученных рекламационных актов на гарантийную продукцию	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Рис. 1. Элемент опросной анкеты

Показатели с весом ниже порогового значения исключаются. Для проверки согласованности мнений экспертов используется коэффициент Кендалла [6].

Отбор ключевых показателей

1. Логический отбор – исключение показателей с ложной корреляцией (например, совпадение из-за общего тренда), с недостаточно «глубокой» историей данных (менее 3 лет), показатели, которые находятся в линейной зависимости друг с другом;

2. Статистический анализ – расчет коэффициента корреляции Пирсона (ρ). Показатели с низким коэффициентом корреляции ($<0,3$) исключаются из анализа [7].

2. Сбор и обработка данных

Основой любой прогностической модели являются надежные высококачественные данные.

При построении цифрового двойника СМК целесообразно учитывать существующие подходы, такие как «снизу-вверх» (от данных), «сверху вниз» (от математической модели) и гибридный [8], что позволяет выбрать оптимальную методологию в зависимости от зрелости системы сбора данных и уровня формализации процессов.

Применяя подход «снизу-вверх», для точного прогнозирования эффективности СМК организации необходимо собрать соответствующие данные о ключевых показателях качества, таких как уровень брака, сроки производства и показатели удовлетворенности клиентов. В

контексте цифрового двойника эти данные постоянно обновляются в режиме реального времени, гарантируя, что прогнозы основаны на самой актуальной доступной информации.

3. Выбор алгоритма

В прогностических моделях используются различные алгоритмы в зависимости от характера данных и поставленных задач. Распространенные методы включают регрессионный анализ, прогнозирование временных рядов, нейронные сети и деревья принятия решений. Каждый из этих алгоритмов обладает определенными преимуществами: например, регрессионный анализ часто используется для выявления взаимосвязей между переменными, в то время как модели временных рядов идеально подходят для прогнозирования на основе последовательных данных (например, ежемесячных производственных дефектов) [9].

4. Моделирование сценариев и анализ чувствительности

Одним из ключевых преимуществ прогнозирующего моделирования является его способность моделировать различные сценарии. Например, организация может захотеть узнать, как изменение процесса или внешний фактор (например, сбой в цепочке поставок) могут повлиять на показатели качества. Используя прогнозные модели в цифровом двойнике, можно моделировать различные сценарии и оценивать влияние изменений, не затрагивая фактические операции. Также проводится анализ чувствительности, чтобы определить, какие переменные наиболее существенно влияют на производительность системы, и определить, на чем следует сосредоточить улучшения.

5. Оценка в режиме реального времени и адаптивная обратная связь

Важной особенностью прогностических моделей является их интеграция с данными, получаемыми в режиме реального времени от цифрового двойника. Этот непрерывный поток данных позволяет получать прогнозы в режиме реального времени, что позволяет СМК мгновенно адаптироваться к изменяющимся условиям. Например, если производительность изделия начинает ухудшаться, прогнозирующая модель может предсказать снижение качества продукции, предлагая корректирующие действия до того, как возникнут дефекты. Эта способность обеспечивать адаптивную обратную связь жизненно важна для постоянного улучшения качества.

Классификация цифровых двойников по уровню автономности и функциональным возможностям [8] позволяет позиционировать разрабатываемую прогнозную модель как операционный цифровой двойник с элементами симуляции, способный не только к сбору данных, но и к моделированию сценариев для поддержки решений.

6. Постоянное совершенствование и доработка

Прогностические модели в СМК не являются статичными; они развиваются с течением времени по мере того, как становится доступно больше данных и система учится на результатах прошлых лет. По мере того как организация собирает больше данных и совершенствует свою деятельность, прогностические модели могут быть откалиброваны повторно, что повышает их точность и эффективность. Этот процесс соответствует принципам непрерывного совершенствования, заложенным в системах менеджмента качества [3]. Благодаря итеративному совершенствованию прогнозные модели позволяют выявлять тенденции, предотвращать узкие места и снижать уровень сбоев в работе.

Визуализация в цифровом двойнике организации

Интерактивная панель инструментов (дашборд) цифрового двойника предоставляет руководителю СМК набор удобных и репрезентативных инструментов для анализа и прогнозирования показателей, влияющих на процесс, а также тестирования управленческих решений.

Стандартный набор инструментов состоит из:

- значений анализируемых показателей с индикатором роста или падения значения по сравнению с предыдущими периодами;
- основного графика, содержащего значения зависимых и независимых переменных. Кроме того, на графике приводится прогнозное значение переменных;
- вспомогательного графика, содержащего сравнение моделируемой и реальной переменной;
- поля для симуляции сценариев, где при заполнении значений зависимых переменных рассчитывается соответствующее им значение независимой переменной, которое сразу же отображается на основном графике;
- блока с детализацией данных, в котором приведены данные показателей за последние 4 периода, прогнозируемые значения, отклонение прогнозируемого и фактического значений в абсолютном и процентном значениях. Величина отклонения маркируется цветом в зависимости от величины отклонения (зеленый – отклонение $\leq 0.5\%$, желтый – отклонение $0.5\text{--}1\%$, красный – отклонение $> 1\%$).

На рис. 2 представлен пример отображения информации по Процессу СМК ЖЦ.3 «Проектирование и разработка», который в рамках исследования состоит из одного показателя результативности процесса – Коэффициент соблюдения установленных сроков и запланированных объемов выполнения разработки РКД, который в соответствии с предыдущими этапами в рамках регрессионной модели зависит от 2 зависимых переменных:

- количество работников, прошедших обучение;
- списочная численность персонала на конец отчетного периода.

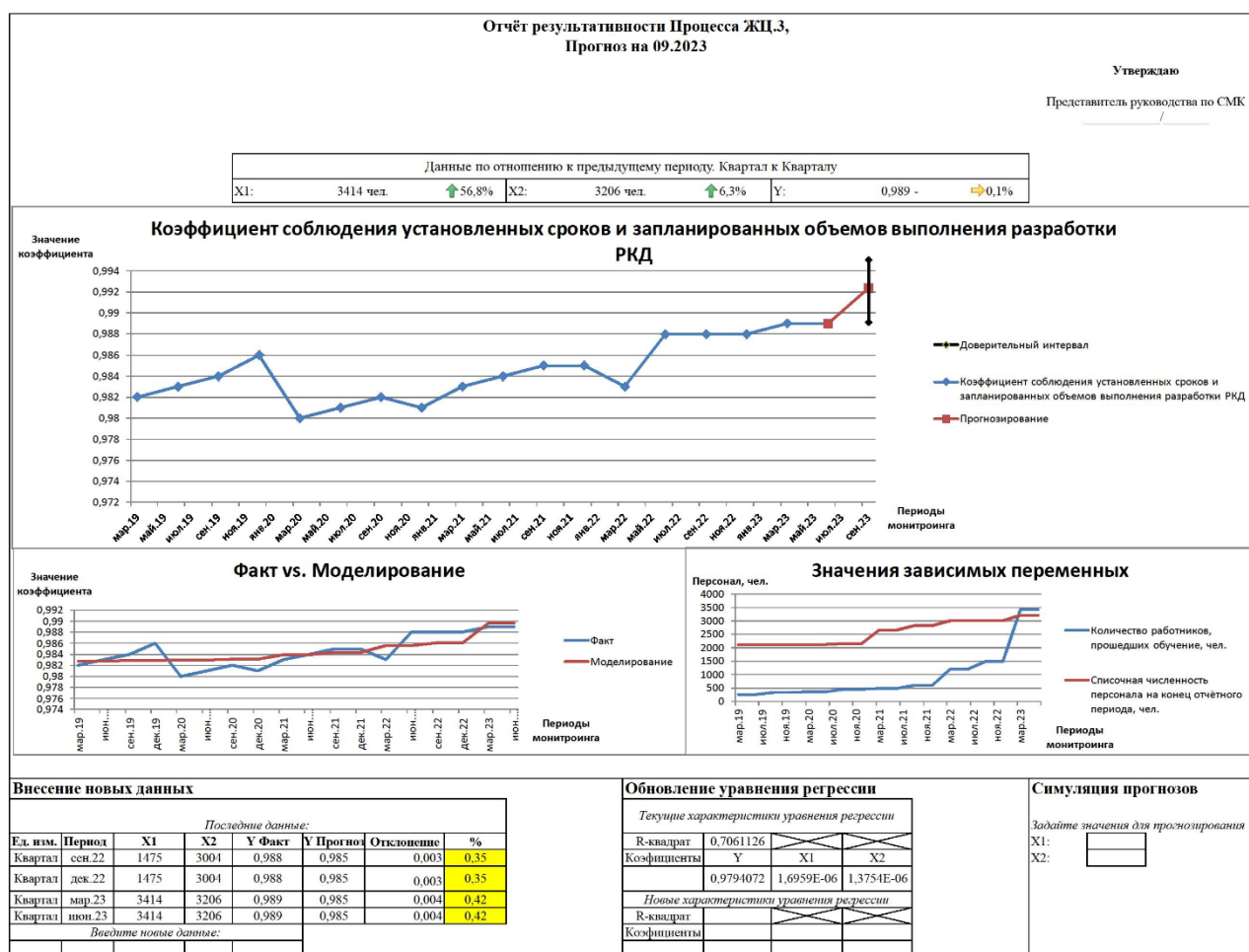


Рис. 2. Пример дашборда

Информационная поддержка для принятия обоснованных решений

На основе данных, формируемых моделью, специалист по качеству может составить отчеты для высшего руководства, например:

- аналитические отчеты и заключения о соответствии качества поступающих в организацию сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий техническим регламентам, стандартам и техническим условиям;
- отчеты о выявленных дефектах, вызывающих ухудшение качественных и количественных показателей продукции (работ, услуг), и о результатах проведения корректирующих действий по устранению этих дефектов;
- отчеты о предотвращении выпуска продукции (работ, услуг), не соответствующих требованиям технических регламентов, стандартов (технических условий), утвержденным образцам (эталонам) и технической документации, условиям поставок и договоров;
- отчетная документация для обеспечения функционирования системы управления качеством (менеджмента качества) продукции (работ, услуг).

Отчет может содержать текущее, целевое (согласно Целям в области качества организации) и прогнозируемое значение анализируемых показателей, рекомендации по достижению целевых значений (таблица).

Пример отчета для менеджмента

Параметр	Текущее значение	Целевое значение	Рекомендации
Количество обученных (X1)	850	899	Обучить 49 сотрудников. Срок: 1 месяц. Бюджет: 2.45 млн руб.
Численность персонала (X2)	10200	10200	Не увеличивать штат. Оптимизировать нагрузку на текущих сотрудников.
Прогноз Y	99,4%	99,5%	Контролировать соответствие обучения требованиям РКД.

Заключение

Прогнозное моделирование, интегрированное в концепцию цифрового двойника организации, представляет собой мощный инструмент для трансформации СМК из реактивной в проактивную. Как продемонстрировано в статье, оно позволяет:

- заблаговременно выявлять риски: предсказывать потенциальные проблемы с качеством и неэффективность процессов на основе анализа исторических и реальных данных;
- оптимизировать принятие решений: предоставлять менеджменту обоснованные прогнозы и рекомендации для стратегического планирования и оперативных корректировок;
- моделировать сценарии: оценивать последствия изменений процессов или внешних факторов без вмешательства в реальные операции;
- обеспечивать адаптивность: постоянно обновлять прогнозы на основе актуальных данных, позволяя СМК гибко реагировать на изменения;
- поддерживать непрерывное улучшение: итеративно совершенствовать модели по мере накопления данных и знаний, следуя принципам СМК.

Реализация подхода, включающая тщательный отбор ключевых показателей, применение современных алгоритмов анализа данных, создание интерактивных дашбордов и формирование целевых отчетов для менеджмента, существенно повышает способность организации управлять качеством на опережение.

Важно отметить, что представленные методы и подходы, хотя и основаны на общепринятых принципах прогнозного моделирования и стандартах СМК (таких как ГОСТ Р ИСО 9001–2015), требуют дальнейшей апробации и валидации на конкретных практических кейсах. Эта апробация, направленная на оценку точности прогнозов, устойчивости моделей и

их реального вклада в повышение эффективности СМК, является необходимой для дальнейших исследований.

Таким образом, прогнозное моделирование в СМК открывает значительные перспективы для достижения нового уровня менеджмента качества и устойчивого развития организации.

Список литературы /References

1. Рахманов М.Л., Бульба Е.П. Методы имитационного моделирования в концепции цифрового двойника СМК организации // Компетентность. 2024. № 2. С. 16–21. / Rahmanov M.L., Bulba E.P. Metody imitacionnogo modelirovaniya v koncepcii cifrovogo dvojnika SMK organizacii. Competency. 2024, no. 2, pp. 16–21. (In Russ).
2. Рахманов М.Л., Бульба Е.П. Проблемы эффективного функционирования системы качества // Компетентность. – 2023. - № 4 – С. 5–10. / Rahmanov M.L., Bul'ba E.P. Problemy effektivnogo funkcionirovaniya sistemy kachestva // Kompetentnost'. – 2023. - № 4 – С. 5-10.
3. Ojeda J.C.O., de Moraes J.G.B., Filho C.V. da S., Pereira M. da S., Pereira J.V. da Q., Dias I.C.P., da Silva E.C.M., Peixoto M.G.M., Gonçalves M.C. Application of a Predictive Model to Reduce Unplanned Downtime in Automotive Industry Production Processes: A Sustainability Perspective // Sustainability. 2025. Vol. 17, no. 9. Art. 3926. URL: <https://doi.org/10.3390/su17093926> (дата обращения: 06.11.2025).
4. Шишкин А.В. Концепция формирования цифрового двойника для эксплуатации // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 4(85). С. 108–113. / Shishkin A.V. Konceptiya formirovaniyacifrovogo dvojnika dlya ekspluatacii // Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2025. № 4(85). S. 108–113.
5. Шинкевич А.И., Алимова Д.Р., Галимулина Ф.Ф. Методика оценки ключевых показателей эффективности системы менеджмента качества организаций // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 3(84). С. 25–31. / Shinkevich A.I., Alimova D.R., Galimulina F.F. Metodika ocenki klyuchevykh pokazatelej effektivnosti sistemy menedzhmenta kachestva organizacij // Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2025. № 3(84). S. 25–31.
6. Лебедева И.М., Федорова А.Ю. Макроэкономическое планирование и прогнозирование / Под ред. А.Ю. Федоровой. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 54 с. / Lebedeva I.M., Fedorova A.YU. Makroekonomicheskoe planirovanie i prognozirovanie / Pod red. A.YU. Fedorovoj. – SPb: Universitet ITMO, 2016. – 54 s. /
7. Аблямин Р.Ф. Применение корреляционного и регрессионного анализа в системе прогнозирования технологического процесса // Научные высказывания. 2023. № 21 (45). С. 24–28. / Ablyaminov R.F. Primenenie korrelyacionnogo i regressionnogo analiza v sisteme prognozirovaniya tekhnologicheskogo processa // Nauchnye vyskazyvaniya. 2023. № 21 (45). S. 24–28.
8. Щекочихин О.В. Современные тенденции управления киберфизическими системами на основе цифровых двойников // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 5(63). С. 33–37. / Shchekochihin O.V. Sovremennye tendencii upravleniya kiberfizicheskimi sistemami na osnove cifrovyyh dvojnikov // Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2021. № 5(63). S. 33–37.
9. Леванова Л.Н. Эконометрика: уч.-метод. пособие. – Саратов: Амрит, 2015. – С. 144. / Levanova L.N. Ekonometrika: Textbook. Saratov, Amirit Publ., 2015, 144 p.