

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION



УДК 656

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949–1835-2025-4-4-7-18>

Анализ контроля сроков строительства с учетом методов раннего предупреждения срыва сроков

Н.В. Розанцева , Н.А. Бабури́н 

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ nrozanceva@lan.spbgasu.ru



EDN: CHJXJH

Аннотация

Введение. Исследование посвящено оценке существующих методик контроля сроков возведения жилых зданий и обоснованию преимуществ подхода раннего предупреждения (EWS). Традиционные инструменты, такие как календарные планы и мониторинг, недостаточно эффективны ввиду своей реактивности и неспособности заранее выявить риски.

Целью является демонстрация перехода от реактивного управления к проактивному, предвосхищающему потенциальные проблемы [1]. Модернизация традиционных методов путем интеграции цифровых инструментов, внедрения предикативной аналитики и использования гибридных методологий управления трансформирует контроль сроков из простого отслеживания в проактивное предвидение, что становится важнейшим конкурентным преимуществом, позволяя строительной отрасли эффективно преодолевать вызовы и достигать поставленных целей с максимальной точностью.

Материалы и методы. Объект изучения — система управления сроками строительства, включающая методы планирования, мониторинга и реагирования. Основные недостатки традиционного подхода заключаются в запоздалом выявлении проблем, эти методы преимущественно фиксируют проблемы по факту их возникновения, субъективизме оценки и отсутствии целостной информационной среды.

Результаты исследования. В рамках работы ожидается создание авторской системы EWS-индикаторов, адаптированных под реалии условий российского строительства, методики интеграции предикативной аналитики в BIM-среду, а также экономико-математической модели для расчета эффекта от внедрения EWS. Данные решения позволят снизить количество срывов сроков на 20–30 %, автоматически обнаруживать риски за неделю–полторы до их наступления и достичь точности прогнозирования сроков сдачи до 95 %.

Обсуждение и заключение. Предложенные меры имеют высокую прикладную ценность: сокращают финансовые и репутационные издержки застройщиков, способствуют выполнению законодательных норм и повышают доверие участников рынка. Интеграция современных технологий, использование предиктивных моделей и гибких управленческих подходов превращают контроль сроков из пассивного наблюдения в активное предупреждение возможных нарушений. Предполагается, что внедренный метод обеспечит снижение количества случаев нарушения дедлайнов на 20–30 %, и позволит заблаговременное обнаружение возможных угроз до наступления негативных последствий, что улучшит качество оценки временных рамок исполнения проектов.

Ключевые слова: контроль сроков строительства, управление проектами, срыв сроков, раннее предупреждение, календарно-сетевое планирование, Earned Value Management, BIM, предиктивная аналитика

Для цитирования. Розанцева Н.В., Бабури́н Н.А. Анализ контроля сроков строительства с учетом методов раннего предупреждения срыва сроков. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2025;4(4):7–18. <https://doi.org/10.23947/2949–1835-2025-4-4-7-18>

Analysis of Control of Construction Timing Taking into Account the Early Warning System of Missed Deadlines

Nadezhda V. Rozantseva , Nikita A. Baburin 

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russian Federation

✉ nrozanceva@lan.spbgasu.ru

Abstract

Introduction. The study is dedicated to evaluating the existing methods for monitoring the construction time of residential buildings and substantiating the advantages of the early warning system (EWS). Traditional tools such as schedules and monitoring are insufficiently effective due to their reactivity and inability to identify risks ahead of time. The aim is to demonstrate the transition from reactive management to proactive predicting likely problems [1]. Modernization of traditional methods by integrating digital tools, introducing predictive analytics and using hybrid management methodologies transforms time control from simple tracking into proactive projection becoming an important competitive edge, allowing the construction industry to effectively deal with challenges and achieve goals with a maximum accuracy.

Materials and Methods. The object of the study is a construction time management system that includes planning, monitoring, and response methods. The major drawbacks of the traditional approach are delayed identification of problems as these methods mainly record problems as they emerge. Assessments are biased and holistic information environment is lacking.

Research Results. As part of the study, the author is expected to design a unique system of EWS indicators adapted to the realities of the Russian construction conditions, a methodology for integrating predicative analytics into the BIM environment, as well as an economic and mathematical model for calculating the effect of EWS implementation. These solutions will reduce the number of missed deadlines by 20–30%, automatically detect risks a week or a week and a half before they emerge, and achieve up to a 95% accuracy in predicting project completion.

Discussion and Conclusion. The proposed measures have a high practical value as they contribute to reducing developers' financial and reputational costs, implementing legislative norms and increasing amount of trust among those involved in the market. Integration of modern technologies, use of predictive models and flexible management approaches transform timing control from passive monitoring into active prevention of possible disruptions. It is assumed that the implemented method will provide a reduction in the number of cases of missed deadline by 20–30%, and will allow early detection of possible threats prior to the impact of negative consequences improving the quality of project time frame assessment.

Keywords: construction timing control, project management, missed deadlines, early warning, calendar and network planning, Earned Value Management, BIM predictive analytics

For citation. Rozantseva NV, Baburin NA. Analysis of Control of Construction Timing Taking into Account the Early Warning System of Missed Deadlines. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2025;4(4):7–18. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-4-7-18>

Введение. В условиях современного строительного рынка, характеризующегося высокой конкуренцией, возрастающей сложностью проектов и строгими требованиями к бюджету, контроль сроков выполнения работ является одним из наиболее критически важных аспектов управления, в последующем обеспечивающим успешную реализацию и своевременную сдачу объектов.

Задержки в строительстве не просто приводят к дополнительным финансовым затратам — они подрывают доверие заказчиков, негативно сказываются на репутации подрядчиков, влекут за собой судебные иски и могут привести к полной остановке проекта.

Целью исследования является разработка практико-ориентированного алгоритма модели превентивного контроля сроков строительства на основе интеграции методов раннего предупреждения.

Задачи разработки:

1. Критический анализ текущих систем контроля сроков.
2. Структурирование методологии EWS (Early Warning System) для строительной отрасли, определение ключевых индикаторов риска.

Материалы и методы. Объект исследования — система контроля сроков строительства жилых объектов в ее текущем состоянии, в том числе:

- процедуры планирования (календарные графики, СРМ-анализ, распределение ресурсов);
- методы мониторинга прогресса (отчетность, инструменты фиксации данных);
- механизмы реагирования на отклонения;
- взаимодействие участников проекта (заказчик, подрядчик, субподрядчики).

Традиционные методы контроля, такие как построение календарных графиков, диаграмм Ганта (рис. 1), использование метода критического пути (СРМ) (рис. 2), фиксация в журналах учета и отчетности и этапные проверки, безусловно, заложили основу для систематического планирования и отслеживания прогресса¹ и десятилетиями доминируют в отрасли.

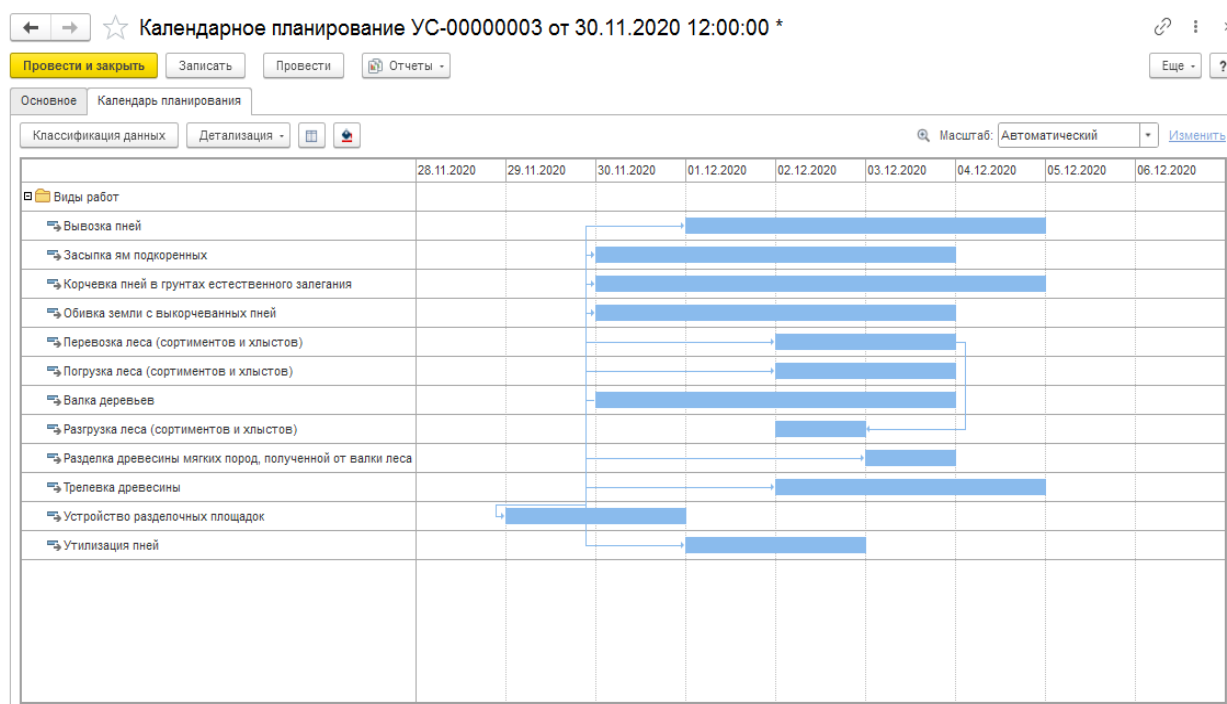


Рис. 1. Пример диаграммы Ганта

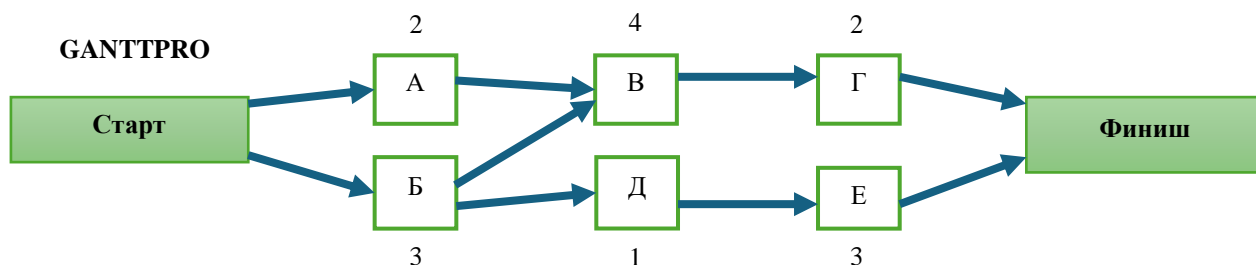


Рис. 2. Метод критического пути в управлении строительством, на основании сетевого графика

Проведем анализ ключевых традиционных подходов в контроле сроков [2]:

1. Календарное (в основном линейное) планирование:

Суть этого метода, его основной механизм: разработка поэтапных планов с фиксированными датами начала и окончания работ.

Основные инструменты: диаграммы Ганта, сетевые графики (типа PERT).

Способы применения: типичны для любых проектов с заранее предсказуемыми этапами возведения объекта, например, фундамент → каркас → отделка → контроль качества (особенно, скрытых работ) → сдача в эксплуатацию.

2. Журнальный учет и отчетность:

Основной механизм: фиксация выполненных работ в бумажных или электронных журналах, например, в «Журнале производства работ».

Способы применения через учет данных: за счет поступающих ежедневных отчетов от прорабов о затраченном времени, объемах, выполненных за определенный промежуток времени работ, возникающих проблемах.

3. Этапные проверки [3]:

Суть этапных проверок заключается в контроле качества на ключевых стадиях строительства для предотвращения дефектов и обеспечения соответствия проекта нормам.

¹ Бовтеев С.В. Методы и формы организации строительного производства: учебное пособие. СПб: СПбГАСУ; 2022. 221 с.

Способы, формы контроля (см. рис. 3):

– *входной контроль*: проверка материалов и оборудования, в том числе машин и механизмов, перед началом этапа работ: сертификаты, паспорта, соответствие ГОСТ, наличие возможных дефектов — от упаковки до более существенных. Например, на стройке ЖК «Лахта-2» в г. Санкт-Петербурге была отклонена партия арматуры из-за несоответствия диаметра — 12 мм вместо 14 мм по проекту;

– *операционный контроль*: мониторинг технологических процессов в ходе выполнения работ (технология, геометрия, температура в процессе бетонирования) бывает очень высокоэффективным при правильном применении современных технических средств. Например, при строительстве монолитных сходов с «Большого Смоленского моста» через р. Неву датчики температуры выявили перегрев бетона до + 40 °С вместо + 25 °С, и работы были остановлены для охлаждения. Применение датчиков Concrete DNA с прогнозом прочности на 72 часа вперёд способствовало качественному выполнению работы с нулевым браком и сокращению сроков на 18 дней;

– *приемочный контроль*: как завершающий этап перед началом следующих работ, проверка соответствия чертежам, прочности материалов, документации, подписание актов после завершения этапа (например «Акт освидетельствования скрытых работ»), достаточно часто подразумевает необходимость проведения работ по устранению недостатков. Например, в ЖК «Эталон» в Южном Бутово в г. Москве (2021 г.), приемка каркаса последнего объекта была задержана из-за трещин, обнаруженных ультразвуком в колоннах, что потребовало усиления конструкций колонн.

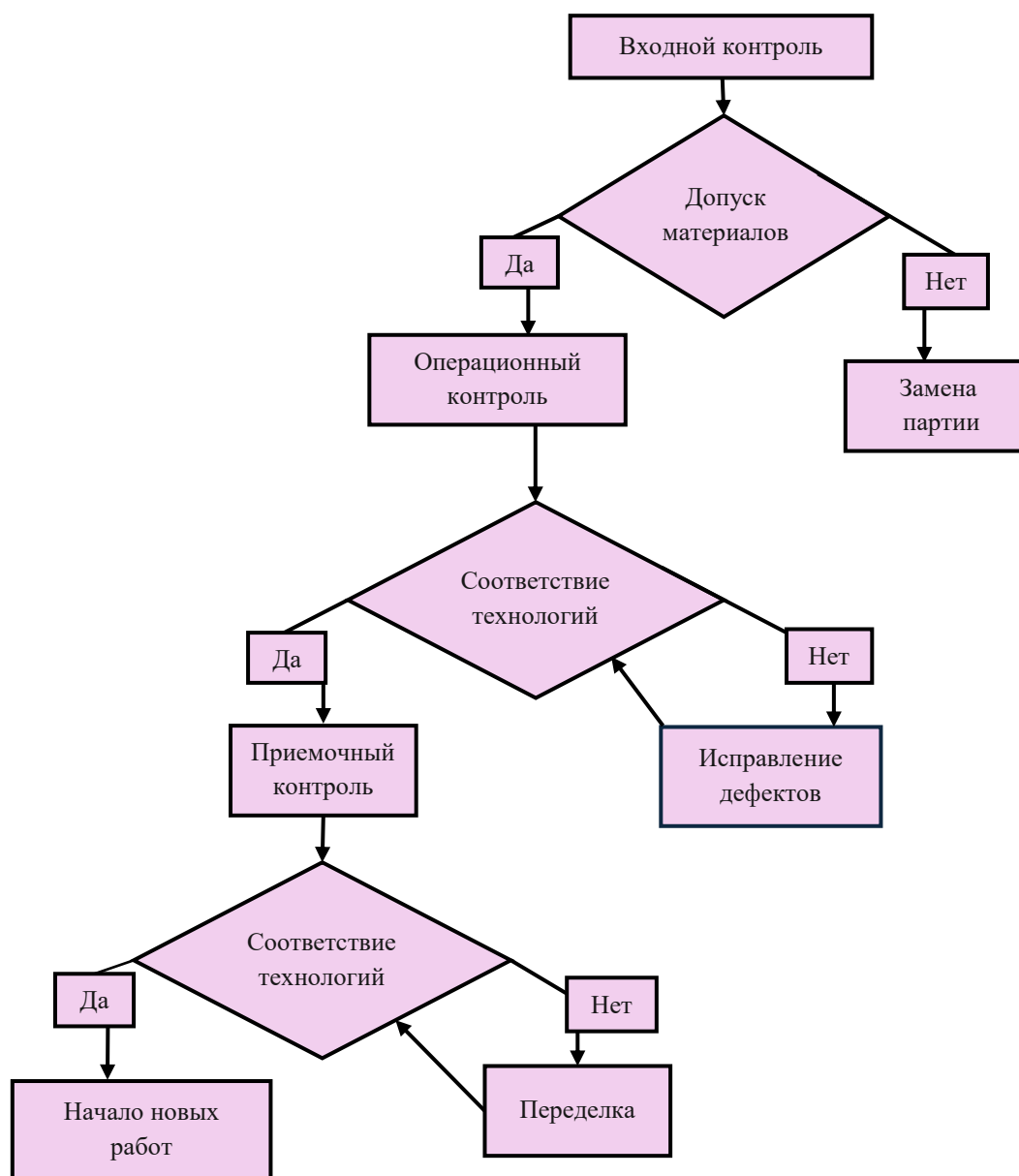


Рис. 3. Существующая схема этапных проверок

Критический анализ текущих систем контроля сроков позволяет выявить основные положительные качества и слабые места традиционных методов (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительный анализ методов и их уязвимостей

Метод	Преимущества	Недостатки	Пример последствий / оценка экономических потерь
Календарные графики	Наглядность, простота использования	Жесткость, невозможность оперативной корректировки	Задержка сдачи ЖК на 3 месяца (г. Москва)
Журнальный учет	Юридическая значимость	Субъективность, фальсификации	Перерасход бюджета: – ЖК «Северная долина», г. Санкт-Петербург: трещины в стенах обнаружены после сдачи — распалубка при недостаточной прочности бетона из-за отсутствия термометров; – ЖК «Эталон», г. Москва, 2021: добавление воды в бетон — водители миксеров разбавляли смесь для упрощения разгрузки.
Этапные проверки	Соответствие нормативам (СП 48.13330)	Точечность, пропуск дефектов	Обрушение плиты в ТЦ «Кировский» — точечный ультразвуковой контроль пропустил пустоты в бетоне

В табл. 2 произведено уточнение ключевых результатов.

Таблица 2

Уточнение ключевых акцентов. Результаты возникновения задержек [4]

Критерий	Объект исследования/ Проблематика/Последствия	Предмет исследования для принятия решения
Сущность	Система контроля сроков несовершенна — низкая точность — недостоверные исходные данные Человеческий фактор: субъективизм при контроле (визуальная оценка опалубки); фальсификация отчетности (завышение объема работ на 15–20 %). Технические ограничения: точечный контроль пропускает скрытые дефекты (обрушения плит в ТЦ «Кировский» в 2020 г., ТК «Голливуд» в декабре 2021 г.).	Процесс трансформации через EWS-методы
Фокус проблемы	Проблемы существующей системы: – <i>реактивность</i> : отклонения от графика выявляются поздно, часто только при еженедельной отчетности; – <i>запаздывание</i> : невозможность оперативного вмешательства ведет к накоплению задержек; – <i>финансовые потери</i> : исправление ошибок поглощает до 30 % бюджета проекта.	Проактивность, прогнозирование рисков на ранних стадиях
Инструменты	Недостатки традиционной системы: – разрозненные базы данных (графики, журналы, геоаннотации хранятся отдельно); – ручной ввод информации замедляет процесс; Результат: задержки согласований, потеря документов, расхождение планов с фактами до 7–10 дней.	Цифровые технологии (BIM, AI), автоматизированные KPI, алгоритмы предикции. Блокчейн-платформа «СтройКонтроль»
Цель изучения	Диагностика недостатков текущей системы	Разработка модели интегрированного EWS-контроля для жилых домов

На основании этого можно сделать вывод, что эффективность традиционных методов ограничена скрытыми недостатками, основной недостаток заключается в том, что они чаще используются для констатации факта отставания от графика, нежели для предотвращения его возникновения [4].

Иными словами, большинство традиционных подходов являются по своей сути реактивными, активируясь уже после того, как проблема со сроками стала очевидной.

Необходимость перехода от реактивного к проактивному управлению сроками строительства стала основополагающей задачей данного исследования.

Современный подход требует внедрения методов раннего предупреждения, способных выявить потенциальные угрозы срыва сроков задолго до того, как они станут критическими. Это позволяет менеджменту проекта своевременно разработать и реализовать корректирующие действия, минимизируя негативные последствия [5]. Ключ к эффективному раннему предупреждению лежит в комплексном использовании данных, технологий и отлаженных коммуникационных процессов. К основным способам усиления этапов проверки можно отнести цифровизацию, датчики мониторинга, блокчейн и неизменяемые журналы строительного контроля.

Методы прогнозирования риска отклонений от графиков² [6] должны включать:

1. Раннее обнаружение и цифровое управление возможных факторов риска через анализ системы контроля временных показателей.
2. Комплексный подход с мониторингом для предотвращения задержек, включающий стратегию анализа задержек.
3. Профилактику срыва сроков строительства на основании аналитических подходов в управлении временными параметрами.

Одним из фундаментальных методов раннего предупреждения является система управления освоенным объемом (Earned Value Management, EVM). EVM интегрирует данные о стоимости, графике и объеме выполненных работ, предоставляя ценные метрики, такие как отклонение по стоимости (CV) и отклонение по срокам (SV) [7]. Отрицательное значение SV свидетельствует об отставании от плана, а индекс SPI отражает эффективность продвижения проекта относительно графика. Мониторинг этих метрик помогает своевременно обнаружить проблему, предсказать её последствия и принять меры до момента необратимых задержек. Анализ динамики SPI позволяет точно оценивать ход работ и прогнозировать сроки окончания строительства. В дополнение к EVM критически важную роль играет детальный анализ рисков и управление ими [8]. Раннее выявление рисков и их систематическая оценка на ранних стадиях проекта (например, риски, связанные с поставками материалов, нехваткой квалифицированных кадров, изменением погодных условий, получением разрешительной документации), позволяют разрабатывать профилактические меры. Формирование реестра рисков с расчетом вероятности и последствий создает базу для упреждения угроз. Сценарный анализ и моделирование (метод Монте-Карло) помогают точнее прогнозировать сроки и планировать временные резервы.

Интеграция BIM и сетевого планирования (4D BIM) обеспечивает наглядное представление хода строительства, позволяющее предотвратить будущие конфликты и опережающее решение проблем (рис. 3). Использование датчиков ИТ (Интернет вещей) на оборудовании и в ключевых зонах стройплощадки обеспечивает сбор данных в реальном времени о прогрессе работ, производительности техники и местонахождении ресурсов [9].

Искусственный интеллект и машинное обучение, анализируя огромные массивы данных (рис. 4) из прошлых проектов, текущих метрик и внешних факторов (погода, экономические индексы), способны выявлять скрытые закономерности и предсказывать вероятные задержки с высокой степенью точности, предлагая оптимальные корректирующие действия [10]. Системы управления проектами (PMS) с функцией автоматических оповещений и дашбордов (рис. 5), отображающих ключевые показатели в режиме реального времени, также значительно повышают эффективность раннего предупреждения.

В данном случае все входящие пользовательские запросы располагаются в последовательности и наглядно видны. На основании приоритета ставится ранг запроса или входящей информации, ставятся задачи соответствующим службам и генерируется расписание сроков их выполнения, затем алгоритм уменьшает интегрированные задачи. Эффективная коммуникация способствует решению раннего предупреждения проблем. Открытый обмен данными о текущих задачах, возникших сложностях и необходимых ресурсах помогает своевременно реагировать на отклонения [11]. Регулярные совещания всех участников проекта обеспечивают оперативное обсуждение прогресса и возникающих трудностей. Важность имеет также внедрение четких процедур управления изменениями: четкое оформление изменений (дизайна, объемов работ, материалов) и анализ их влияния на сроки и стоимость снижают риск срыва графика. Неконтролируемые изменения являются одной из главных причин срыва сроков.

² Олейник П.П. Бродский В.И., Кузьмина Т.К., Чердиченко Н.Д. Теория, методы и формы организации строительного производства: учебник по направлению подготовки 08.04.01 Строительство. 1 часть. Москва: МИСИ — МГСУ; 2019. С 174–244.

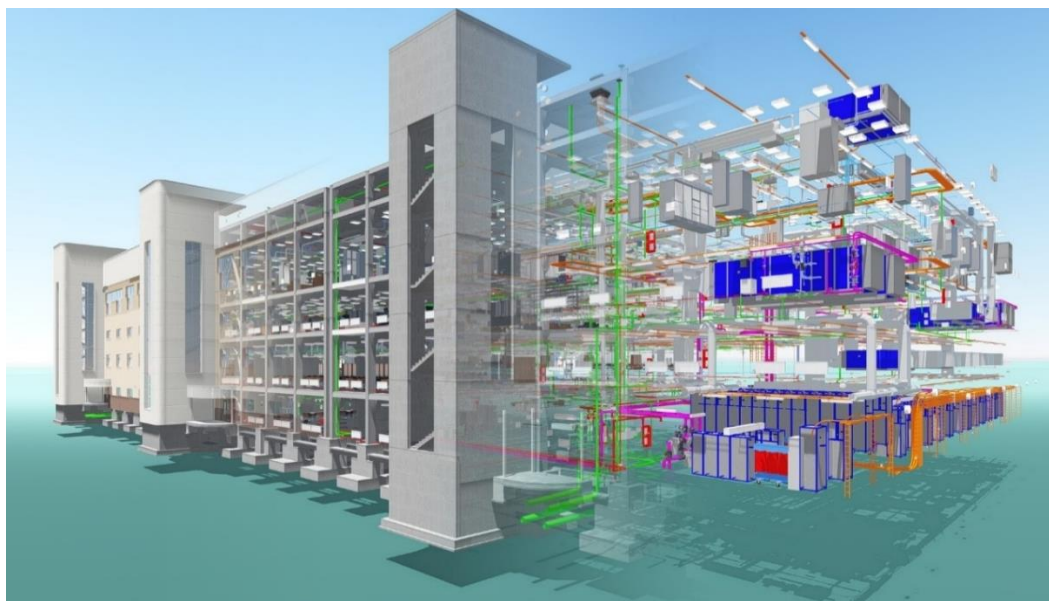


Рис. 4. Пример применения BIM-технологии



Рис. 5. Пример дашборда

Постоянный мониторинг критического пути [12], определенного на этапе планирования, важен для раннего предупреждения. Динамическое обновление путей регулярно пересчитывается и анализируется для учета реальных темпов выполнения. Изменение критического пути или появление новых критических задач сигнализирует о потенциальных проблемах со сроками. Оценка временных резервов времени (float) позволяет выявить потенциально опасные этапы, где даже небольшие задержки могут повлиять на общий срок завершения.

Результаты исследования.

Структурирование методологии EWS для строительной отрасли:

1. Определение ключевых индикаторов риска:

- скорость расходования временных буферов;
- динамика производительности труда (отклонение > 15 % от нормы);
- задержки поставок критичных материалов.

2. Разработка алгоритма предикативной аналитики на основе исторических данных (ML-модели).

Управленческие инновации:

- система триггеров для оперативного реагирования;
- адаптация процессов управления рисками под превентивную модель.

Пример триггера: при фиксации ИТ-датчиками падения скорости монтажа ЖБК на 18 % система автоматически:

- пересчитывает сроки критического пути;
- инициирует заказ дополнительной техники;
- уведомляет генподрядчика о риске срыва этапа.

Выдвинуто предложение: структурировать технологическую архитектуру системы с учетом оптимизации критического пути [15].

Таблица 3

Интеграция инструментов

Технология	Функционал
BIM 4D/5D	Визуализация графика + автоматическое обновление прогресса
IT-датчики	Мониторинг темпов работ (например, объем уложенного бетона в смену)
Cloud-платформы	Агрегация данных → генерация тревог (SMS/e-mail)

Процессная модель управления рисками.

1. Внедрение трехуровневой системы триггеров (рис. 6):

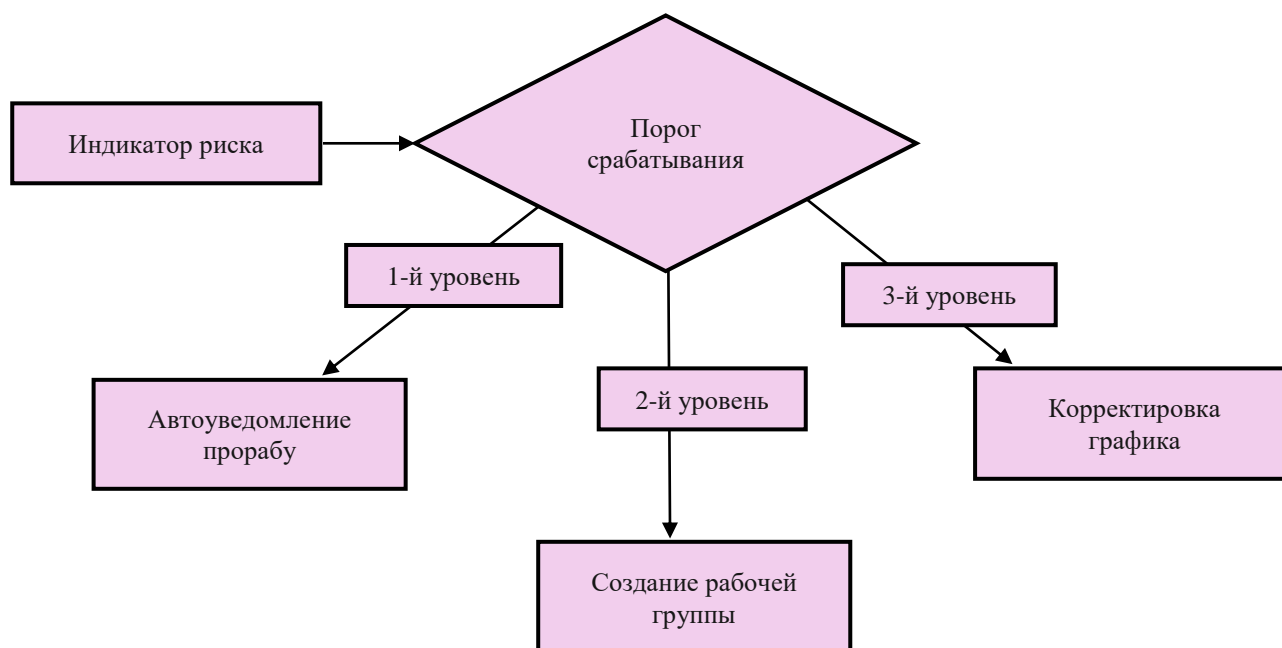


Рис. 6. Алгоритм внедрения трехуровневой системы

2. Регламент оперативного реагирования (сроки: 1–24 часа).

3. Кейс-стади апробации модели.

Пилотное внедрение EWS на жилом комплексе ЖК «Лахта-2» (данные 2022–2024 гг.).

Параметры: 24 этажа, 356 квартир, срок строительства — 28 мес.

Результаты:

- снижение задержек на 27 %;
- экономия 11 млн. руб. за счет сокращения простоев.

4. Формирование рекомендаций:

- для застройщиков: алгоритм внедрения EWS (этапы, бюджет, ROI);
- для регуляторов: предложения по актуализации СНиП/ГОСТ с учетом превентивного контроля.

Предмет фокусируется на создании алгоритма упреждающего управления сроками, который:

– *Снижает частоту срывов.* Алгоритм непрерывно контролирует ключевые показатели проекта. Отклонения (падение производительности на 15 %, задержка поставок) запускают раннюю тревогу. Ранняя реакция предотвращает накопление негатива и снижает затраты на коррекцию графика.

– *Интегрирует EWS-индикаторы в ежедневные процессы.* Центральный элемент алгоритма — система индикаторов раннего предупреждения (EWS). Индикаторы отражают изменения в проекте и предупреждают о будущих проблемах. Пример: темп расхода резерва критического пути. Быстрое исчерпание резервов сигнализирует о надвигающихся сроках и требует срочных мер. Интеграция EWS даёт доступ к актуальной информации и поддержку принятия решений в режиме реального времени.

– *Формализует ответные действия.* Для обеспечения оперативного и единообразного реагирования на идентифицированные риски алгоритм предусматривает формализацию ответных действий. Это означает, что для каждого потенциального сценарного отклонения или при достижении определенных пороговых значений EWS-индикаторов заранее определяются конкретные корректирующие мероприятия. Например, установление триггера: «при сокращении резерва времени на 50 % → инициировать пересмотр логистики». Такой подход сокращает время на принятие решений, исключает субъективизм и обеспечивает немедленное выполнение заранее утвержденных протоколов реагирования.

Для понимания механики работы алгоритма рассмотрим следующий сценарий: внедрение ИТ-датчиков, предназначенных для непрерывного отслеживания темпов затвердевания бетона на монолитных конструкциях. Собранные данные, включающие температуру, влажность и другие параметры окружающей среды, подвергаются машинному обучению (ML-анализу). На основе исторических данных и текущих показателей ML-модель способна прогнозировать потенциальную задержку в выполнении монолитных работ, например, за 10 дней до того, как эта задержка станет очевидной и приведет к срыву. Получив такой прогноз, система инициирует автоматическую или ручную корректировку общего графика строительства, что может включать перераспределение ресурсов, изменение последовательности смежных работ или активацию альтернативных планов для компенсации выявленной задержки. Этот пример демонстрирует, как алгоритм переходит от сбора данных к их анализу, прогнозированию и в конечном итоге к проактивным управляющим воздействиям.

Ожидаемая научная новизна.

1. *Авторская система EWS-индикаторов* для строительной отрасли (адаптированных под реалии РФ). В исследовании создается первая специализированная система индикаторов раннего предупреждения (EWS) для строительного сектора РФ. Учет местных факторов (климат, законодательство, цены, квалификация рабочих) дополнен уникальной методологией измерения, приоритизации и объединения показателей.

2. *Метод интеграции* предикативной аналитики в BIM-среду.

Научная новизна исследования состоит в создании оригинального метода алгоритмизации процесса двустороннего обмена данными между предикативными моделями (машинное обучение, нейросети) и BIM-платформой, превращающей ее в BIM-модель. Метод позволяет прогнозировать отклонения по срокам, ресурсам и затратам, используя исторические и текущие данные проекта. Двусторонний автоматически обновляемый обмен данными между аналитическими моделями и BIM превращает последнюю из диагностического инструмента, отображающего текущее состояние проекта, в средство прогнозирования и оптимизации строительных процессов.

3. *Экономико-математическая модель* расчета эффекта от внедрения EWS.

Новизна модели заключается в ее способности учитывать как прямые финансовые выгоды (например, снижение штрафов за срыв сроков, оптимизация затрат на ресурсы, минимизация рисков перерасхода бюджета), так и косвенные, но не менее значимые преимущества (такие как повышение репутационной ценности застройщика, снижение судебных издержек, рост доверия дольщиков и инвесторов). Модель будет включать алгоритмы для расчета возврата инвестиций (ROI), чистого дисконтированного дохода (NPV) и других ключевых показателей эффективности, а также позволит проводить сценарный анализ и оценку чувствительности к различным параметрам, что обеспечит надежное обоснование управленческих решений.

Практическое значение исследования заключается в радикальном повышении надежности и стабильности строительного процесса благодаря внедрению упреждающей системы контроля сроков, основанной на глубокой интеграции методов раннего предупреждения (EWS). Модель уменьшает финансовые и репутационные риски застройщиков, улучшает исполнение требований федерального закона № 214-ФЗ от 31.12.2004 г. «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации», повышает доверие дольщиков и инвесторов к строительным компаниям — прозрачность, предсказуемость и своевременность реализации проектов значительно сокращают количество потенциальных судебных исков и претензий, что создает благоприятный инвестиционный климат и укрепляет конкурентные позиции застройщика на рынке жилого строительства.

Модель обеспечивает:

- сокращение срывов сроков на 20–30 % благодаря непрерывному мониторингу ключевых показателей;
- автоматическое выявление рисков за 7–14 дней до их проявления, что предоставляет руководителям проектов бесценное окно возможностей для своевременного принятия корректирующих мер, перераспределения ресурсов или активации альтернативных планов, минимизируя негативные последствия;
- увеличение точности прогнозирования сроков до 95 %.

В результате проекты реализуются вовремя, снижаются судебные претензии и административные санкции, улучшаются инвестиционная привлекательность и конкурентоспособность компаний.

Перспективы модернизации традиционных методов. Интеграция цифровых инструментов:

– *BIM (Building Information Modeling)*: одним из ключевых направлений является использование BIM для 4D-планирования. Эта технология позволяет динамически связывать детальные графики выполнения работ с 3D-моделями проекта, что обеспечивает автоматическое выявление потенциальных коллизий, конфликтов и неточностей в последовательности операций уже на ранних этапах планирования. Это существенно снижает риск ошибок и переделок на строительной площадке.

– *IT-датчики*: Широкое внедрение IT-датчиков обеспечивает непрерывный мониторинг критически важных параметров строительных процессов в реальном времени. Например, отслеживание темпов бетонирования, уровня вибрации или температурных режимов на площадке. Успешный опыт таких проектов, как жилой комплекс «Лахта-2» в Санкт-Петербурге, наглядно демонстрирует высокую эффективность подобных систем в повышении контроля и предсказуемости хода работ.

Внедрение предикативной аналитики: раннее предупреждение рисков. Активное использование предикативной аналитики является вторым важным аспектом модернизации. Современные алгоритмы, основанные на анализе обширных исторических данных и методов машинного обучения, способны с высокой точностью прогнозировать потенциальные задержки и риски. Например, при фиксировании падения производительности труда в определенном сегменте работ на 15 % система автоматически генерирует соответствующее предупреждение (alert), позволяя менеджерам оперативно реагировать и корректировать планы до того, как проблема станет критической.

Гибридная методология управления: Waterfall + Agile: Модернизация методов управления также предполагает освоение гибридных методологий, сочетающих в себе элементы традиционного каскадного (Waterfall) и гибкого (Agile) подходов. Это подразумевает интеграцию жесткого планирования и последовательного выполнения ключевых этапов проекта (характерного для Waterfall) с гибкими, адаптивными «спринтами» для оперативных корректировок и быстрого реагирования на изменения и выявленные риски (характерного для Agile). Преимущества такого синтеза подтверждаются практикой, например, при строительстве моста через р. Неву использование цифровых двойников в рамках гибридной методологии позволило сократить общие сроки выполнения работ на 18 дней, демонстрируя потенциал синергии различных подходов в повышении эффективности управления крупными и сложными проектами.

Обсуждение и заключение. Традиционные методы контроля сроков строительства страдают от реактивности, субъективизма и фрагментарности данных. Для преодоления недостатков необходим комплексный подход, объединяющий цифровизацию (BIM, AI), гибкость управления (Waterfall + Agile) и сдвиг к проактивному управлению. Опыт строительства ЖК «Лахта-2» доказывает, что цифровая интеграция снижает задержки на 20–30 %.

Новый подход меняет парадигму управления сроками, превращая пассивное наблюдение в активное предвидение. Требуется интегрированное управление рисками, аналитика данных, технологии и коммуникации. Внедрение таких методов сокращает вероятность срывов, оптимизирует расходы, повышает качество и репутацию.

Предлагаемый алгоритм упреждающего контроля основан на методах раннего предупреждения (EWS), адаптированных к российским условиям. Система предусматривает индикаторы EWS, предиктивную аналитику и оценку эффектов. Результаты: уменьшение срывов сроков на 20–30 %, автоматическое выявление рисков за 7–14 дней и точность прогнозов до 95 %. Такой подход минимизирует финансовые и репутационные риски, поддерживает требования ФЗ № 214 и усиливает доверие участников рынка. Цифровые инструменты и предиктивная аналитика преобразуют контроль сроков в стратегическое предвидение, обеспечивающее устойчивость и рост строительной отрасли.

Список литературы/References

1. Зотова К.А., Ланкина Ю.А., Мельникова Н.С. Проблемы внедрения технологий информационного моделирования в России. *Ogarëv-Online*. 2023;7(192):1–6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-vnedreniya-tehnologiy-informatsionnogo-modelirovaniya-v-rossii/viewer> (дата обращения 13.10.2025).

Zotova KA, Lankina YuA, Melnikova NS Problems of Introducing Information Modeling Methods in Russia. *Ogarëv-Online*. 2023;7(192):1–6. (In Russ.) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-vnedreniya-tehnologiy-informatsionnogo-modelirovaniya-v-rossii/viewer> (accessed: 13.10.2025)

2. Шафранова А.А., Коклюгина Л.А., Коклюгин А.В. Варианты определения продолжительности строительства на основе влияния внешних факторов. *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013;4(26):262–267. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/varianty-opredeleniya-prodolzhitelnosti-stroitelstva-na-osnove-vliyaniya-vneshnih-faktorov/viewer> (дата обращения 13.10.2025).

Shafranov AA, Koklugina LA, Koklugin AV Ways of Calculating the Period of Building Process Considering External Factors. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2013;4(26):262–267. (In Russ.) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/varianty-opredeleniya-prodolzhitelnosti-stroitelstva-na-osnove-vliyaniya-vneshnih-faktorov/viewer> (accessed: 13.10.2025)

3. Топчий Д.В., Токарский А.А. Концепция контроля качества организации строительных процессов при проведении строительного надзора на основе использования информационных технологий. *Вестник Евразийской науки*. 2019;11(3). URL: <https://esj.today/PDF/52SAVN319.pdf> (дата обращения: 13.10.2025).

Topchiy DV, Tokarskiy AA The Concept of Quality Control of the Organization of Construction Processes during Construction Supervision through the Use of Information Technology. *The Eurasian Scientific Journal*. 2019;11(3). (In Russ.) URL: <https://esj.today/PDF/52SAVN319.pdf> (accessed: 13.10.2025)

4. Болотин С.А., Аль-Жанаби М.А., Бохан Х.А. Прогнозирование окончания строительства на основе моделирования нелинейной зависимости от задержек отдельных работ. *Вестник гражданских инженеров*. 2022;2(91):83–90. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2022-19-2-83-90>

Bolotin SA, Al-Janabi MA, Bohan KhA Forecasting of the Construction Completion Based on the Modeling of Non-linear Dependence on Delays of Individual Works. *Bulletin of Civil Engineers*. 2022;2(91):83–90. (In Russ.) <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2022-19-2-83-90>

5. Котовская М.А. Развитие календарного планирования поточного строительства на основе метода критической цепи и статистического моделирования. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург: СПбГАСУ; 2015.

Kotovskaya MA *Development of Calendar Planning for Online Construction Based on the Critical Chain Method and Statistical Modeling*. Dissertation for the Degree of Candidate of Science in Engineering. St. Petersburg: SPBGASU; 2015. (In Russ.)

6. Михальченко О.Ю., Лapidус А.А., Файзуллин И.Э. Бифуркационные процессы в управлении сроками и затратами строительных проектов. *Вестник Евразийской науки*. 2024;16(6). URL: <https://esj.today/PDF/34SAVN624.pdf> (дата обращения 13.10.2025).

Mikhalchenko OYu, Lapidus AA, Faizullin IE Bifurcation Processes in Managing the Timing and Costs of Construction Projects. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(6). URL: <https://esj.today/PDF/34SAVN624.pdf> (accessed: 13.10.2025).

7. Лapidус А.А., Файзуллин И.Э., Михальченко О.Ю. Метод формирования организационно-технических решений при строительстве объектов капитального строительства. *Строительное производство*. 2024;4:3–8.

Lapidus AA, Faizullin IE, Mikhalchenko OYu Method for Forming Organizational and Technical Solutions during the Construction of Permanent Construction Projects. *Construction Production*. 2024;4:3–8.

8. Тютин А.Д., Галкин М.В. Применение искусственного интеллекта в строительстве и архитектуре. *Евразийское Научное Объединение*. 2021;3–6(73):481–483.

Tyutina AD, Galkin MV Application of Artificial Intelligence in Construction and Architecture. *Eurasian Scientific Association*. 2021;3–6(73):481–483. (In Russ.)

9. Симанкина Т.Л. Совершенствование календарного планирования ресурсосберегающих потоков с учетом аддитивности интенсивности труда исполнителей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург: СПбГАСУ; 2007. 157 с.

Simankina TL *Improving the Calendar Planning of Resource-Saving Flows Taking into Account the Additivity of the Labor Intensity of Performers*. Dissertation for the degree of Candidate Science in Engineering. St. Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2007. 157 p.

10. Михальченко О.Ю., Лapidус А.А., Ткач А.А. Адаптивные модели управления строительной системой. *Вестник Евразийской науки*. 2025;17(1). URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN125.pdf> (дата обращения 13.10.2025).

Mikhalchenko OYu, Lapidus AA, Tkach AA Adaptive Models of Construction System Management. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(1). (In Russ.) URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN125.pdf> (accessed: 13.10.2025)

11. Захарова М.Ю. Обзор ключевых аспектов BIM на стадиях жизненного цикла строительного объекта. В: *Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2022. С. 79–83.

Zakharova MYu Overview of the Key Aspects of BIM at the Stages of the Life Cycle of a Construction Facility. *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2022. P. 79–83.

12. Leach L.P. *Critical Chain Project Management. Third Edition*. Artech House; 2014. 345 p.

Об авторах:

Розанцева Надежда Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры организации строительства Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (190005, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4), [ScopusID](#), [ORCID](#), nrozanceva@lan.spbgasu.ru

Бабурин Никита Андреевич, магистрант кафедры организации строительства Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (190005, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4), [ORCID](#), dt.bn@bk.ru

Заявленный вклад соавторов:

Н.В. Розанцева: научное руководство, формирование основной концепции разработки идеи, доработка текста, корректировка, анализ и формирование выводов.

Н.А. Бабурин: разработка идеи, цели и задачи исследования, подготовка текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Nadezhda V. Rozantseva, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Construction Organization at the Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4 2nd Krasnoarmeyskaya Str., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), nrozanceva@lan.spbgasu.ru

Nikita A. Baburin, Master's Student at the Department of Construction Organization at the Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4 2nd Krasnoarmeyskaya St., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation), [ORCID](#), dt.bn@bk.ru

Claimed Contributorship:

NV Rozantseva: scientific supervision, formation of the basic concept of the idea development, revision of the manuscript, correction, analysis and formation of the conclusions.

NA Baburin: development of the idea, aims of the research, preparation of the manuscript.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of manuscript.

Поступила в редакцию / **Received** 15.10.2025

Поступила после рецензирования / **Reviewed** 28.10.2025

Принята к публикации / **Accepted** 10.11.2025