

От CAD к АСУП: сценарный подход к автоматизации исполнительной документации в строительстве

В.Ю. Баканин

Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет),
362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, д. 44, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка методологии и алгоритмов сценарно-ориентированной обработки типовых инженерных ситуаций для цифрового сопровождения строительных работ, направленных на преодоление информационных разрывов и повышение эффективности работы производственно-технического отдела (ПТО). **Метод.** В основе исследования лежит сценарно-ориентированный подход, реализованный в виде интегрированной надстройки к распространенным CAD-системам (на примере AutoCAD). Методология включает формальную модель $S = \langle I, P, D, A \rangle$ и трехуровневую семантическую структуру, которая превращает геометрические объекты чертежа в носители логической информации. **Результат.** Разработана и апробирована на реальных объектах программная надстройка, которая позволила систематизировать процессы оформления исполнительной документации. Внедрение системы показало снижение когнитивной нагрузки на инженеров ПТО, алгоритмическое выявление типовых несоответствий и случаев дублирования, а также повышение точности и отслеживания данных за счет визуального представления статусов работ прямо на чертеже. **Вывод.** Исследование демонстрирует, что переход от линейного документооборота к событийно-реактивной архитектуре прикладной логики, интегрированной в привычные CAD-системы, позволяет эффективно управлять неполной информацией, минимизировать риски человеческого фактора и создать основу для будущей глубокой автоматизации процессов производственно-технического сопровождения в строительстве.

Ключевые слова: цифровое сопровождение строительства, исполнительная документация, автоматизация документооборота, интеграция CAD и АСУП

Для цитирования: В.Ю. Баканин. От CAD к АСУП: сценарный подход к автоматизации исполнительной документации в строительстве. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2026;53(1):23-39. DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-1-23-39.

From CAD to automated control system: scenario approach to automation of executive documentation in construction

V.Yu. Bakanin

North Caucasian Order of Peoples' Friendship Mining and Metallurgical Institute
(State Technological University),
44 Nikolaeva St., Vladikavkaz 362021, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the research is to develop a methodology and algorithms for scenario-oriented processing of typical engineering situations for digital support of construction works aimed at bridging information gaps and improving the efficiency of the production and technical department. **Method.** The research is based on a scenario-oriented approach implemented as an integrated add-on to common CAD systems (using AutoCAD as an example) at the level of event-driven application logic. The methodology includes a formal model $S = \langle I, P, D, A \rangle$ and a three-level semantic structure used to describe and structure the transformation of geometric

drawing objects into logical information carriers. **Result.** A software add-in has been developed and tested on real construction projects, which made it possible to systematize executive documentation workflows. The implementation of the system demonstrated a reduction in cognitive load on engineers, automatic detection of typical inconsistencies and duplication patterns, as well as improved accuracy and traceability of data through visual representation of work statuses directly on CAD drawings. **Conclusion.** The study demonstrates that the transition from linear document management to a scenario-oriented, event-driven application logic architecture, integrated into familiar CAD systems, makes it possible to effectively manage incomplete information, minimize human factor risks, and create a foundation for further development of formal scenario-based automation in construction production support.

Keywords: Digital construction support, executive documentation, document management automation, CAD-automated control system integration

For citation: V.Yu. Bakanin. From CAD to Automated Control System: a Scenario Approach to Automation of Executive Documentation in Construction. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2026;53(1):23-39. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-1-23-39.

Введение. Современная строительная отрасль сталкивается с нарастающей сложностью управления проектами, обусловленной множеством факторов: от высокой изменчивости проектных решений до несвоевременности передачи информации между участниками процесса. Одним из ключевых центров ответственности в таких условиях выступает производственно-технический отдел (ПТО), который обеспечивает оформление исполнительной документации (ИД), координирует выполнение работ и взаимодействие с техническим надзором, генподрядчиком и субподрядными организациями.

На практике ПТО вынужден действовать в условиях неполной, противоречивой или запаздывающей информации. Например, реальные границы выполнения работ могут отличаться от проектных из-за отклонений в строительстве, отсутствия необходимых материалов, ошибок исполнителей, пересмотра проектных решений. При этом цифровые инструменты, используемые на стадии проектирования (BIM, CAD), зачастую слабо связаны с задачами управления производством и оформления ИД, что приводит к информационным разрывам.

Актуальность исследования определяется необходимостью разработки такой архитектуры цифрового сопровождения, которая способна эффективно обрабатывать неполные и противоречивые данные, поддерживать инженерное принятие решений и обеспечивать автоматическую трассировку изменений. Решением выступает переход от линейного документооборота к сценарно-ориентированному сопровождению — модели, при которой каждый случай сопровождения рассматривается как типовый сценарий с возможными вариантами развития и соответствующими действиями системы.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является разработка методологии и алгоритмов сценарно-ориентированной обработки инженерных ситуаций при цифровом сопровождении строительных работ, реализуемых в виде интегрированной надстройки к существующим CAD-системам и сопряжённой с АСУП.

В отличие от специализированных BIM-решений, предлагаемый подход ориентирован на использование привычного и широко распространённого программного обеспечения, уже внедрённого в строительных организациях, и максимально адаптированного к потребностям исполнителей, сосредоточенных на производстве работ, а не на проектировании. Такой подход позволяет повысить достоверность исполнительной документации; сократить время согласования и оформления изменений; минимизировать риски человеческого фактора; обеспечить прозрачность взаимодействий между участниками строительства. Реализация предложенной методики построена на архитектуре, в которой геометрические объекты чертежа становятся носителями логической информации, роли и связей, а система — активным участником инженерных процессов. Это позволяет ПТО работать

не с наборами чертежей, а с набором сценарно-ориентированных реакций и регламентов обработки инженерных ситуаций. Исследовательская повестка в области цифрового сопровождения строительного производства формируется на пересечении трех основных направлений: регуляторных требований к исполнительной документации, теоретических основ управления производством в условиях неполной информации и практических решений по интеграции технологических систем.

Российская нормативная база создает юридическую рамку для перехода к цифровой исполнительной документации. Градостроительный кодекс РФ закрепляет требования к составу и порядку приемки исполнительной документации [1], а СП 48.13330.2019 определяет организационно-технологические регламенты строительства [2]. Критическим моментом стал переход от РД-11-02-2006 Ростехнадзора к новому приказу Минстроя № 344/пр от 16.05.2023, который впервые разрешил ведение общих и специальных журналов работ в электронном виде без дублирования на бумаге [3]. С 1 сентября 2023 года электронные документы формируются в формате XML по схемам, размещенным на официальном сайте Минстроя России [4]. Дополнительную регуляторную поддержку оказывает ГОСТ Р 70108-2025, устанавливающий стандарты формирования электронной исполнительной документации с 1 октября 2025 года [5].

Строительное производство характеризуется высокой степенью неопределенности, что делает традиционные линейные модели управления недостаточными. Исследования по применению сценарного планирования в управлении строительными проектами показывают, что создание множественных сценариев развития событий позволяет эффективнее управлять рисками и принимать решения в условиях неполной информации. Современные работы по управлению неопределенностью в строительных проектах выявляют основные источники неполной информации: сложность организационных взаимоотношений, изменчивость требований заказчика, неопределенность объемов работ и временные ограничения на получение дополнительной информации [6].

Четырехэтапный процесс сценарного планирования, включающий идентификацию ключевых факторов неопределенности, разработку альтернативных сценариев, оценку их влияния и формирование адаптивных стратегий, показал эффективность в крупных инфраструктурных проектах. Применение матричных методов для построения сценариев на основе двух критических факторов неопределенности позволяет создавать практически применимые модели управления строительными рисками.

Переход «от CAD к АСУП» представляет собой комплексную задачу интеграции проектной информации с производственным планированием и учетом. Исследования демонстрируют успешные примеры CAD-ERP интеграции в дискретном производстве, где автоматическая генерация спецификаций из CAD-чертежей значительно сокращает время планирования и снижает количество ошибок. В строительстве подобная интеграция осложняется специфическими требованиями к исполнительной документации и необходимостью поддержания версионности проектных решений.

Ключевые преимущества CAD-ERP интеграции включают: сокращение времени инженерно-производственного цикла на 40-60%, уменьшение ошибок ручного ввода данных на 80-90%, улучшение управления изменениями через автоматическую синхронизацию версий, и повышение качества сотрудничества между инженерными и производственными командами. Современные решения поддерживают двунаправленную синхронизацию между проектными данными и учетными системами через использование стандартизированных форматов обмена данными. Российские работы в данном направлении сосредоточены на формализации информационных моделей и разработке XML-схем для машиночитаемого обмена данными [7]. Развитие семантических технологий открывает новые возможности для формального описания строительных процессов и автоматизации принятия решений. Онтологический подход к моделированию строительных процессов позволяет создавать машиночитаемые представления знаний о технологических последовательностях, зависимостях между работами и требованиях к качеству [8].

Исследования по семантическому обогащению BIM-моделей показывают возможности автоматического извлечения и структурирования информации из проектных документов через применение правил логического вывода и пространственно-геометрических отношений [9]. Разработанные системы семантического обогащения, такие как SeeBIM, демонстрируют точность классификации объектов до 95% при обработке сложных строительных моделей [10]. Особый интерес представляет применение онтологий для автоматизированного анализа нормативных документов в строительстве, что позволяет автоматически проверять соответствие проектных решений строительным нормам и правилам [11]. Современные подходы к семантическому обогащению включают четыре основные задачи: классификацию объектов, определение пространственных отношений, выявление функциональных зависимостей и генерацию правил логического вывода [12].

Зарубежная литература демонстрирует значительные достижения в области автоматизированного контроля прогресса строительных работ. Классическими стали работы по 4D-моделированию и автоматическому сопоставлению план-факт через лазерное сканирование и компьютерное зрение [13, 14]. 4D Augmented Reality (D4AR) подходы обеспечивают визуально-аналитический контроль выполнения работ в реальном времени через наложение плановых моделей на фотографии строительной площадки [15].

Современное направление развивается в сторону интеграции технологий лазерного сканирования с искусственным интеллектом для автоматического определения процента выполнения работ. Системы автоматического мониторинга прогресса, основанные на анализе облаков точек и компьютерном зрении, достигают точности определения готовности объектов до 90%. Такие решения позволяют не только отслеживать прогресс работ, но и прогнозировать потенциальные отклонения от графика.

Применение мобильных роботизированных платформ для непрерывного мониторинга строительных площадок обеспечивает получение актуальных данных о состоянии объектов без участия человека, что особенно важно для крупных инфраструктурных проектов [16]. Российские исследования последних лет сосредоточены на адаптации международных BIM-стандартов к отечественным нормативным требованиям и практике строительства. Исследования МГСУ демонстрируют подходы к формализации информационных моделей объектов капитального строительства и интеграции BIM с процессами технического надзора [17, 18].

Значительный вклад в развитие методологии информационного моделирования вносят работы по созданию отечественных программных решений. Разработка российских BIM-систем, таких как Renga и nanoCAD, показывает возможность создания конкурентоспособных решений для архитектурно-строительного проектирования. Анализ внедрения BIM-технологий в России показывает рост с 7% до 30% застройщиков, применяющих информационное моделирование, что свидетельствует о положительной динамике цифровизации отрасли. Исследования по созданию национальных стандартов для цифровых двойников жилых домов, проводимые под руководством ДОМ.РФ, формируют методологическую основу для массового внедрения технологий информационного моделирования в российском строительстве. Работы по автоматизации проектных работ в строительных компаниях в условиях цифровизации демонстрируют практические подходы к интеграции различных информационных систем [19]. Особое внимание уделяется разработке методов научно-технического сопровождения строительных проектов как организационной рамки для внедрения цифровых технологий.

Применение теории конечных автоматов для моделирования строительных рабочих процессов представляет относительно новое направление исследований. Конечные автоматы (Finite State Machines, FSM) позволяют формализовать состояния строительных зон и четко определить условия переходов между ними [20]. Современные исследования показывают эффективность применения FSM для управления сложными последовательностями строительных операций, особенно при оформлении исполнительной документации. При этом в настоящей работе конечные автоматы рассматриваются как смежный метод

формализации процессов; предложенный сценарный подход реализован на уровне событийно-реактивной прикладной логики без выделения самостоятельного механизма исполнения FSM. Иерархические конечные автоматы позволяют моделировать сложные рабочие процессы с вложенными состояниями, что точно отражает многоуровневую структуру строительных процессов. В рамках программного обеспечения конечные автоматы применяются для управления пользовательскими интерфейсами, протоколами связи и автоматизацией рабочих процессов, что делает их подходящими для строительных применений. Практическое применение FSM в .NET-разработке демонстрирует возможности создания устойчивых и масштабируемых систем управления строительными процессами с четко определенными состояниями и переходами.

Анализ литературы показывает значительный разрыв между достижениями в области автоматизированного управления производственными процессами и требованиями российской нормативной базы к исполнительной документации. Сценарный подход к управлению строительными процессами практически не представлен в литературе применительно к задачам производственно-технических отделов (ПТО). Большинство исследований по BIM и цифровизации строительства сосредоточены на этапе проектирования, в то время как вопросы цифрового сопровождения исполнительной документации остаются недостаточно изученными. Отсутствуют комплексные подходы к интеграции CAD-систем с АСУП через сценарные механизмы обработки неполной информации.

Настоящее исследование направлено на устранение этих разрывов путем разработки методологии сценарного цифрового сопровождения, которая учитывает специфику российских регуляторных требований, использует привычные CAD-системы как основу интеграции и обеспечивает автоматизированную поддержку принятия решений в условиях неполной информации.

Методы исследования. Для формализации цифрового сопровождения строительных процессов в условиях неполной информации была разработана многоуровневая методология, сочетающая сценарный подход, семантическое моделирование и инженерную автоматизацию. Основу составляет модель $S = \langle I, P, D, A \rangle$, в которой:

I - исходная информация, получаемая из чертежей, актов, заказов, нарядов;

P - критерии полноты и достоверности данных;

D - допустимые действия: подтверждение, уточнение, отклонение, автоматическое исправление;

A - алгоритмы реакции системы на типовые и нетиповые события.

Дальше мы показываем методику «в действии»: каждый прикладной сценарий - это реализация модели $S = \langle I, P, D, A \rangle$ над трёхуровневой семантической структурой (объектный $\rightarrow$ ролевой $\rightarrow$ процессный уровни). Здесь I - задействованные сущности и роли, P - состояния и переходы, D - вычисляемые данные и правила проверки, A - действия и артефакты (акты, отчёты, записи в АСУП).

Модель реализована в виде интегрированной надстройки к AutoCAD с использованием C# и .NET Framework. В апробационной версии хранение данных обеспечивается табличным ядром на базе Microsoft Excel, интегрированным через COM-интерфейс; архитектура системы предусматривает переход к СУБД SQLite на этапе промышленной эксплуатации. Архитектура построена по модульному принципу:

1. Графический уровень: объекты AutoCAD (полилинии, штриховки, блоки) получают дополнительную семантику через XData — системное расширение, хранящее параметры, роли и связи.

2. Логический уровень: каждому объекту присваивается тип, роль (например, зона выполнения, контур акта, материал) и контекст (этап работ, исполнитель, дата).

3. Сценарный уровень: обработка событий, отклонений и ситуаций реализуется через сценарии — шаблоны реакций на неполную или противоречивую информацию.

4. Уровень хранения данных: в апробационной версии реализован через табличное ядро Excel, выполняющее функции оперативной базы данных. Структура таблиц

обеспечивает хранение идентификаторов зон, их параметров, статусов и связанных документов. Архитектура ориентирована на последующий переход к СУБД SQLite для обеспечения устойчивого хранения истории изменений, версионности и синхронизации с внешними системами.

Для формализации строительных процессов в автоматизированной системе сопровождения предлагается трёхуровневая семантическая структура. Она обеспечивает увязку геометрических объектов чертежа с их функциональными ролями и процессной логикой сценариев.

1. Объектный уровень. Базовый слой модели. Каждый графический примитив в AutoCAD получает:

- уникальный идентификатор (GUID),
- геометрические характеристики (тип, границы, площадь, длина),
- атрибуты XData, закрепляющие его принадлежность к зоне или элементу строительного процесса.

Таким образом, объектный уровень служит «паспортом» каждого элемента чертежа, создавая основу для последующей семантической интерпретации.

2. Ролевой уровень. Средний слой, который определяет назначение и поведение объектов. Именно здесь реализуется классификация по пяти категориям ролей:

- Исполнительные роли (фундамент, плита, зона выполнения) — участвуют в формировании актов КС-2, подсчёте объёмов и закрытии работ.
- Контрольные роли (оси, отметки, границы этапов) — обеспечивают сопоставление с проектом и проверку условий для активирования.
- Вспомогательные роли (опалубка, временные конструкции, дополнительные зоны) — учитывают временные или дополнительные элементы, влияющие на расчёты.
- Корректирующие роли (область вычета, зона исключения, маркер дефекта, зона демонтажа) - фиксируют нарушения и инициируют сценарии корректировки.
- Документационные роли (маркер документации, элементы оформления) — используются для генерации актов, ведомостей и исполнительных схем.

Таким образом, пятиуровневая ролевая классификация наполняет ролевой уровень конкретным содержанием, задавая поведение объектов в дальнейших процессах.

Программная реализация ролевого уровня обеспечивается механизмом семантических слоёв (пример представлен на скриншоте программы – рис. 1). Каждый слой наследует свойства родительского объекта и получает суффикс роли (например, «_выполнено», «_вычет»), что позволяет однозначно идентифицировать назначение объекта в контексте строительного процесса:

```
/// <summary>
/// Создание семантического слоя с наследованием свойств
/// </summary>
public static void CreateSemanticLayer(string parentLayer, string roleSuffix)
{
    Document doc = Application.DocumentManager.MdiActiveDocument;
    Database db = doc.Database;
    using (Transaction tr = db.TransactionManager.StartTransaction())
    {
        LayerTable lt = tr.GetObject(db.LayerTableId, OpenMode.ForRead) as LayerTable;
        string newName = parentLayer + roleSuffix;
        if (!lt.Has(newName) && lt.Has(parentLayer))
        {
            LayerTableRecord parent = tr.GetObject(lt[parentLayer], OpenMode.ForRead) as LayerTableRecord;
            LayerTableRecord newLayer = new LayerTableRecord();
            newLayer.Name = newName;
            newLayer.Color = parent.Color;           // наследование цвета
        }
    }
}
```

```
newLayer.LineWeight = parent.LineWeight; // наследование толщины
```

```
lt.UpgradeOpen();
lt.Add(newLayer);
tr.AddNewlyCreatedDBObject(newLayer, true);
}
tr.Commit();
}
```

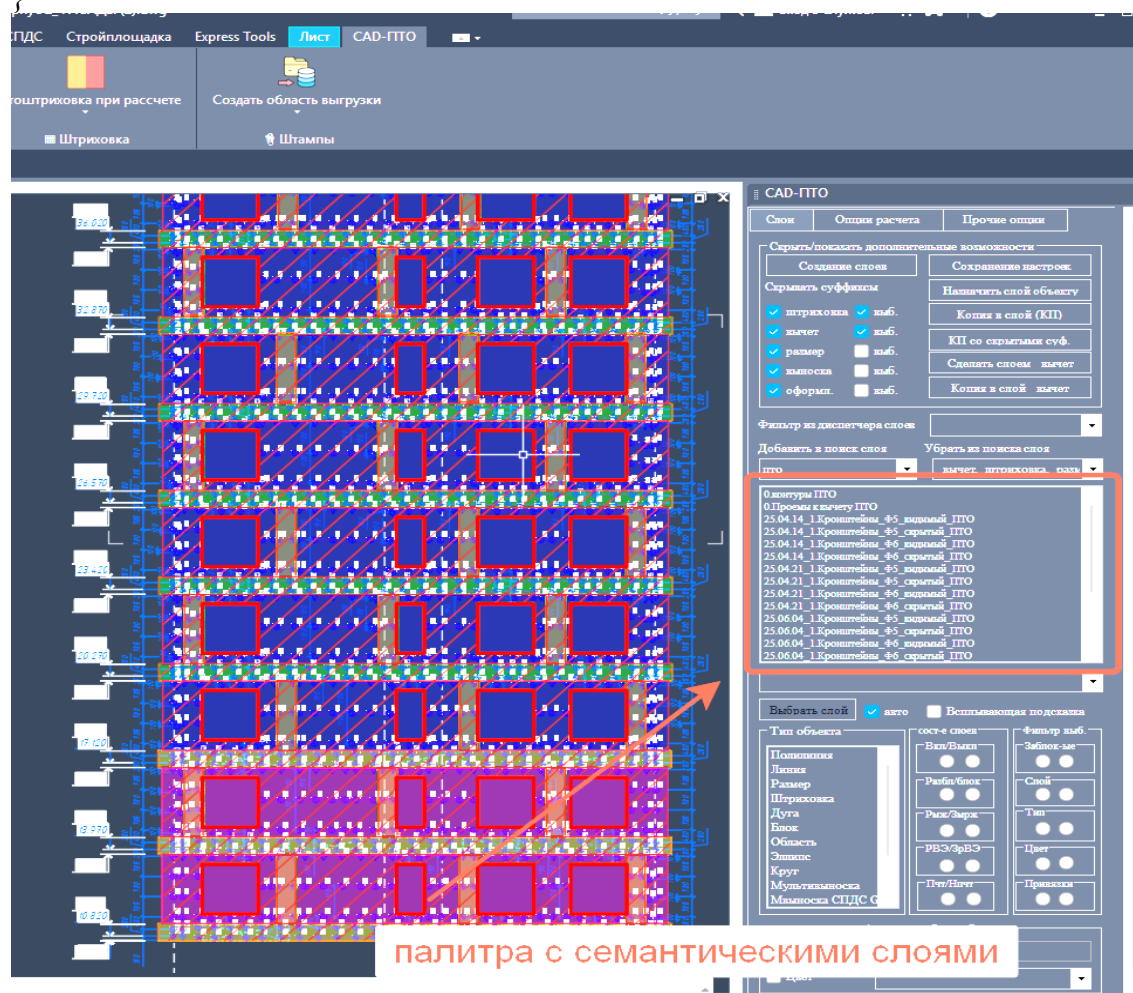


Рис. 1 – Интерфейс системы: панель управления слоями и палитра семантических слоёв с датированными версиями зон выполнения работ

Fig. 1 – System interface: layer control panel and semantic layers palette with dated versions of work execution zones

3. Процессный уровень.

Верхний слой, описывающий причинно-следственные связи и сценарии работы системы.

Примеры:

- «Если зона закрыта → сформировать акт скрытых работ/добавить объем в акт КС2».
- «Если объект имеет роль «Отделка» и изменилась несущая конструкция → пересчитать объём отделки».
- «Если пересечение ролей приводит к дублю → заблокировать закрытие и инициировать корректировку».

Процессный уровень моделируется в виде набора сценариев, структурированных по принципу «условие → переход → действие → результат».

Реализация данных реакций осуществляется через модульные алгоритмы прикладной логики, запускаемые в ответ на события пользовательского или системного уровня в CAD-среде:

- Анализ полноты: проверка, например, достаточно ли данных для оформления акта (присутствуют ли исполнитель, слой, дата, связанная модель).
- Реакция на изменение: при перемещении, удалении или модификации объекта с привязкой - инициируется сценарий (например, откат, повторное закрытие, предупреждение).
- Версионность: все действия записываются в табличное хранилище с привязкой к дате и исполнителю. Возможен откат или сравнение версий.
- Автозаполнение: параметры (даты, объемы, исполнители) могут быть автоматически перенесены из предыдущих актов или связанных зон.

Представленная методология моделирования строительного производства в условиях неполной и изменяющейся информации формирует основу сценарного подхода, применяемого в данной работе.

В рамках предложенной модели строительные зоны рассматриваются как объекты с динамическими состояниями, а изменения этих состояний описываются в виде сценариев - типовых последовательностей действий и переходов, отражающих реальные процессы на строительной площадке. Каждый сценарий представляет собой логически завершённую реакцию системы на определённый набор условий: частичное выполнение работ, замена материалов, исправления после выявленных дефектов, передача и т.д.

Таким образом, сценарий в данной системе - это прикладная реализация механизмов принятия инженерных решений, заложенных в методологии. Он включает:

- условия запуска (например, выявлено отклонение от проекта),
- цепочку переходов между состояниями объекта (например, «приостановлена» → «исправляется» → «утверждена»),
- действия системы (запрос документов, фиксация отклонения, запуск проверки),
- конечный результат (например, создание нового акта или отклонение от предыдущего).

Обсуждение результатов. Нами разработаны конкретные инженерные сценарии сопровождения, реализующие предложенную модель в виде практических кейсов. Эти сценарии формируют основу цифрового сопровождения строительного производства и являются ядром автоматизированной поддержки принятия решений в системе.

В рамках статьи сценарий трактуется не как самостоятельный исполняемый автомат, а как типовая инженерная ситуация, реализуемая через последовательность событийно-реактивных операций: фиксация события, проверка условий, выполнение алгоритмических действий и формирование результата.

Сценарии - прикладная реализация модели $S=\langle I,P,D,A \rangle$ и регламентов ПТО; они не дублируют функции CAD/BIM, а задают логическую схему сценарно-ориентированных переходов активирования/коррекций поверх геометрии и параметров (условия «если-то»).

Каждый сценарий дан в однотипной форме:

условие → переход → действие → результат, плюс краткая строка соответствия методике: $S\langle I=...,P=...,D=...,A=... \rangle$.

Это избавляет от разрывов между теорией и практикой и позволяет напрямую выгружать результат в корпоративный контур (АСУП). Разработка и внедрение сценарного подхода позволили систематизировать наиболее распространённые ситуации, с которыми сталкивается инженер ПТО при оформлении исполнительной документации в условиях неполной информации. Программная поддержка сценариев обеспечивается инфраструктурой системы: механизмом семантических слоёв, алгоритмами проверки пересечений и синхронизацией с табличным хранилищем. Сценарии 1–13 имеют программную поддержку базовых операций; сценарии 14–16 отражают направления дальнейшего развития.

1. Сценарий поэтапного выполнения (частичное закрытие зоны).

Описание: Строительно-монтажные работы часто выполняются неравномерно — отдельные зоны, участки или этажи сдаются поэтапно. При этом оформление акта возможно лишь при точной фиксации факта выполнения.

Автоматизация: В системе реализована алгоритмическая проверка пересечений зон: при повторном предъявлении участка, уже закрытого в предыдущем акте, система автоматически предупреждает и предлагает скорректировать границу. При необходимости создаётся новая зона с привязкой к исполнителю и датой.

Пример: Подрядчик выполнил 40% работ по монтажу кронштейнов навесного вентилируемого фасада. Система позволяет оформить частичный акт и зафиксировать объём. При втором предъявлении автоматически проверяется, не перекрывает ли новая зона уже закрытую.

2. Сценарий уточнения или смещения зоны выполнения.

Описание: часто исполнитель ошибается в привязке, и зона фактического выполнения не совпадает с проектной. Это требует гибкой корректировки без потери связей с другими объектами.

Автоматизация: при изменении геометрии или координат зоны система отслеживает привязки (например, оси, этажи, границы) и предлагает обновить связанные данные. Изменения записываются в историю с возможностью отката.

Пример: Исполнитель предъявил зону на 2 метра правее проектной. После ручного сдвига полилинии система пересчитывает объём, сохраняет предыдущую версию и добавляет комментарий в журнал изменений.

3. Сценарий цепной корректировки.

Описание: Изменение одного элемента проекта (например, замена стены) часто влечёт за собой каскадные изменения — отделки, примыкания, проемы.

Автоматизация: используется система зависимостей: объекты связаны логически (например, отделка принадлежит перегородке). При изменении объекта инициируется сценарий проверки зависимых элементов, с возможностью обновления, удаления или пометки «требуется проверки».

Пример: Перенос перегородки вызывает смещение всех отделочных покрытий, связанных с ней. Система автоматически предлагает пересчитать объёмы и отследить изменения в связанных актах.

4. Сценарий замены материалов.

Описание: При возникновении логистических сбоев или проектных изменений материалы могут быть заменены. При этом важно сохранить корректность спецификаций и объёмов.

Автоматизация: Объект получает новый параметр материала, пересчитываются стоимость и параметры, создаётся связанный комментарий. В акте система отображает как первоначальный, так и заменённый материал.

Пример: Из-за отсутствия ГКЛ 12,5 мм подрядчик использует ГКЛ 9,5 мм. Система фиксирует замену, предлагает указать основание (ППР, распоряжение, РД) и пересчитывает массу и стоимость работ.

5. Сценарий исправления ошибок подрядчика.

Описание: Подрядчик мог неверно указать зону или выполнить работы в непредусмотренном месте. При этом требуется сохранить факт выполнения и исключить дублирование.

Автоматизация: При повторной попытке предъявить уже оформленную зону система выдает предупреждение и предлагает два варианта: откат или регистрация новой зоны с меткой «коррекция подрядчика».

Пример: Подрядчик второй раз предъявляет ту же зону. Система предлагает сравнение и выводит различия между зонами. В случае подтверждённой ошибки зона сохраняется, но маркируется как исправление с возможностью фильтрации при формировании ИД.

6. Сценарий отката и версионирования.

Описание: При изменении решения ПТО или ошибке в оформлении может потребоваться отменить выполненное действие.

Автоматизация: Система ведёт историю всех действий: изменения, автор, дата, зона. Доступна кнопка «Откат», возвращающая состояние к предыдущей версии.

Пример: После закрытия акта технадзор требует изменения границы. Инженер ПТО нажимает «Откат» — система восстанавливает прежнюю геометрию, пересчитывает объёмы и сохраняет историю изменения.

7. Сценарий послойного (иерархического) закрытия работ.

Описание: При оформлении актов освидетельствования скрытых работ (АОСР) требуется соблюдать строгую последовательность: каждый последующий слой (например, стяжка, гидроизоляция, утепление) может быть принят только при наличии подписанного акта на предыдущий. Нарушение порядка приводит к нарушению регламентов СНИП и отклонению документов технадзором.

Автоматизация: В системе реализована проверка иерархии: каждый объект с ролью «слой» содержит параметр «уровень последовательности». При попытке закрыть верхний слой (например, финишную отделку) система автоматически проверяет, подписаны ли предыдущие (гидроизоляция, стяжка). При отсутствии подписанного акта система блокирует оформление и выводит уведомление.

Пример: Инженер пытается оформить акт на чистовую отделку. Система выявляет, что по слою «штукатурка» нет закрытого акта и выдаёт предупреждение: «Невозможно оформить. Предыдущий слой не закрыт».

8. Сценарий предотвращения дублирования объёмов.

Описание: Подрядчики нередко по ошибке (или намеренно) дважды предъявляют один и тот же объём, зону или элемент. Это приводит к завышению объёмов, конфликтам и финансовым рискам.

Автоматизация: При каждой попытке оформления акта система анализирует геометрию зоны и пересекающиеся элементы. В случае наложения более чем на 3% с ранее закрытой зоной система блокирует действие, предлагает сравнение и требует явного подтверждения ПТО. Также фиксируется история: кто и когда пытался продублировать зону.

Пример: Подрядчик оформляет акт на участок 101–103, ранее частично закрытый. Система выдаёт: «Обнаружено пересечение с ранее закрытым участком (акт № 34 от 01.06.2025). Подтвердить повторное закрытие?»

9. Сценарий закрытия по зонам ответственности (разделение между подрядчиками).

Описание: на крупных объектах зоны строительных работ могут пересекаться по вертикали, горизонтали или времени, при этом ответственность за выполнение несут разные подрядчики. Важно исключить двойное оформление и точно зафиксировать исполнителя по каждой зоне.

Автоматизация: каждой зоне выполнения присваивается параметр «исполнитель». При формировании акта система проверяет, принадлежит ли зона текущему подрядчику. Если зона уже частично закрыта другим исполнителем, система предлагает выделить только оставшиеся фрагменты. Поддерживается также «пограничный режим» — с возможностью согласованного деления зон по протоколу.

Пример: подрядчик А пытается закрыть зону, ранее частично выполненную Подрядчиком Б. Система выделяет доступный остаток и выводит сообщение: «Часть зоны уже оформлена другим исполнителем. Выделен допустимый объём: 8.2 м²».

10. Сценарий повторной приёмки после замечаний (корректирующий цикл).

Описание: после предъявления зоны могут быть выявлены замечания (например, техническим надзором). Повторная приёмка должна быть зафиксирована, без потери информации о первичной попытке и замечаниях.

Автоматизация: система сохраняет первую версию акта с меткой «с замечаниями» и фиксирует дату/основание возврата. После повторного предъявления создаётся версия № 2, связанная с первой. В журнале видно: «Первичное предъявление – 02.07.2025, замечания: “отсутствует анкеровка”, повторное – 10.07.2025, принято».

Пример: подрядчик предъявил акт, но получил замечание. После доработки предъявляет повторно. Система автоматически связывает акты, показывает историю замечаний и результат повторной проверки.

11. Сценарий частичного отката (отмена части акта).

Описание: бывают случаи, когда нужно отменить только отдельные участки или позиции из ранее оформленного акта (например, выявлена ошибка в одной зоне, остальные приняты корректно).

Автоматизация: система позволяет выбрать, какие геометрические элементы или строки акта следует отменить. Создаётся новая версия акта с пометкой «частично откорректирован», отменённые данные сохраняются в архиве и недоступны для повторного использования без явного подтверждения.

Пример: в акте на 5 зон одна была ошибочно включена. Инженер ПТО выбирает её и выполняет частичный откат. Система формирует версию 1.1, в которой остались только 4 корректные зоны.

12. Сценарий контрольного сравнения между этапами (ревизия).

Описание: для управления качеством и соблюдения технологии необходимо выполнять контрольные сравнения между этапами — что изменилось, какие зоны были отклонены, что предъявлено без соответствия.

Автоматизация: система сравнивает состояния объектов между двумя выбранными временными точками или версиями актов. Формируется отчёт: добавленные, удалённые, изменённые зоны. Выявляются пересечения, несогласованности и потенциальные риски.

Пример: перед сдачей объекта ПТО запускает сравнение между версией акта от 01.07.2025 и 20.07.2025. Система выводит: «Добавлено – 3 зоны (42 м²), откорректировано – 1 зона, удалено – 0».

13. Сценарий выявления незавершённых зон («дыры на чертеже»).

Описание: в процессе строительства и оформления актов могут образовываться зоны, которые забыли закрыть — особенно в случаях с поэтапным выполнением или переменной подрядчиков. Эти «дыры» не фиксируются ни в одной ИД и становятся источником проблем при итоговой сдаче объекта.

Автоматизация: система строит карту покрытия — визуализирует все закрытые зоны с учётом их статуса и исполнителя. Затем анализирует оставшиеся участки чертежа, не попавшие ни в одну зону. Такие участки подсвечиваются как «незавершённые» и включаются в отдельный отчёт.

Пример: на плане благоустройства обнаружено, что 7% площади не закрыто ни одним актом. Система формирует список незакрытых зон по слоям и предлагает направить уведомление ответственному подрядчику.

14. Сценарий фотофиксации и мультимедиа-подтверждения.

Описание: для подтверждения выполнения работ, особенно по скрытым или конструктивно важным элементам, требуется визуальное подтверждение — фото, видео, сканы. В идеале — привязанные к конкретным зонам.

Автоматизация: в каждый объект (зону) можно прикрепить медиафайлы — до/после выполнения. Система позволяет их просматривать в окне CAD или в связанной карточке. Поддерживается экспорт фото в PDF-приложения к акту.

Пример: зона стяжки содержит три фото: до армирования, во время заливки, после. При проверке акт автоматически подтягивает изображения, а технадзор получает ссылку на визуальный архив.

15. Сценарий принудительного закрытия (override).

Описание: в ряде ситуаций требуется оформить акт в обход логики сценариев — например, при распоряжении руководства, временной сдаче или договорённости с заказчиком. Это критическая точка, требующая учёта, но не блокировки.

Автоматизация: система позволяет выполнить принудительное закрытие зоны, даже если нарушены сценарные правила (не закрыт предыдущий слой, нет фотофиксации и т.д.). Однако в этом случае автоматически запрашивается основание (ссылка на распоряжение, приказ) и ФИО ответственного, зафиксированное в истории изменений. Такие действия помечаются флагом «override» и попадают в отдельный журнал для внутреннего контроля.

Пример: ПТО оформляет акт на зону без фото и закрытого подстилающего слоя. Система требует ввести: «Распоряжение №15-РП от 03.08.2025. Ответственный: Гл. инженер Иванов». В журнале видно, что акт был оформлен с нарушением, но с разрешением.

16. Сценарий привязки паспортов качества и превращения чертежа в электронный журнал работ.

Описание: в практике сопровождения строительства требуется не только фиксировать геометрию и объёмы, но и прилагать сертификаты, паспорта качества, протоколы лабораторных испытаний, подтверждающие соответствие материалов и выполненных работ требованиям нормативных документов. Обычно эти документы ведутся в бумажном виде и слабо связаны с графическим планом, что затрудняет контроль и верификацию.

Автоматизация: в системе реализована функция связывания каждого чертёжного объекта (зоны, блока, элемента конструкции) с прикреплёнными документами — паспортами, заключениями, протоколами. Поддерживаются форматы PDF, DOC(X), XLS(X), изображения и отсканированные копии. Все документы группируются по зонам и датам и отображаются в виде вложений в «электронном журнале работ».

На уровне интерфейса пользователь видит: чертёж с зонами работ; список прикреплённых документов по каждой зоне; дату, кем приложено, номер и статус (подписан, на согласовании и т.п.). Эта логика превращает чертёж в живой электронный журнал работ, где каждый участок содержит не только графику, но и весь необходимый пакет сопровождающей документации.

Пример: зона «Монолитная плита 1Э-1» имеет привязанные паспорта бетона М300, протокол испытаний кубов, акт скрытых работ. Все они отображаются в окне объекта и автоматически входят в выгрузку ИД. Всё прослеживается в одном окне — без поиска в бумажных архивах.

Безопасность и трассировка: каждое прикрепление фиксируется в журнале: кто, когда, какой файл добавил, был ли он заменён, а также ссылкой на исходное местоположение (например, сетевое хранилище или СЭД).

В соответствии с ГОСТ Р 59853-2021, АСУП определяется как автоматизированная система, предназначенная для управления производственно-хозяйственной деятельностью предприятия. В предлагаемом исследовании надстройка САД рассматривается как операционный контур ПТО, который обеспечивает поставку в АСУП проверенных данных об объёмах и актах, устраняя информационный разрыв между исполнительной документацией и корпоративным уровнем учёта. Структура надстройки САД выступает связующим между графической моделью строительного процесса и корпоративной АСУП. Система фиксирует исполнительные данные на уровне строительных зон, актов и объёмов, формирует структурированные регистры и обеспечивает их передачу в АСУП. Такая архитектура позволяет устранить ключевой информационный разрыв: от локальных решений инженеров ПТО к централизованному учёту и финансовому контролю.

Интеграция реализована поэтапно:

1. Операционный уровень — формирование электронных актов, ведомостей объёмов и исполнительных схем в среде AutoCAD с сохранением семантических связей и историей версий.

2. Промежуточный уровень — структурирование данных в табличном ядре Excel с возможностью экспорта в форматы CSV, XML. Архитектура предусматривает переход к реляционной СУБД (SQLite) на этапе масштабирования системы.

3. Корпоративный уровень (АСУП) — приём данных в существующие ERP/учётные системы (1C, SAP и др.), где они становятся основанием для расчётов, оплаты и план-факт анализа.

Такой подход имеет ряд преимуществ: универсальность — использование открытых форматов позволяет интегрироваться с различными АСУП без модификации ядра системы; масштабируемость - на начальных этапах возможен обмен через стандартные файлы, на более зрелых - переход к API-интеграции и онлайн-синхронизации; прозрачность - данные, закреплённые за объектами чертежа, однозначно трассируются до корпоративных регистров, что исключает дублирование и ручные ошибки.

Передача данных в табличное хранилище осуществляется через COM-интерфейс Microsoft Excel (реализация пользовательского интерфейса представлена на рис. 2).

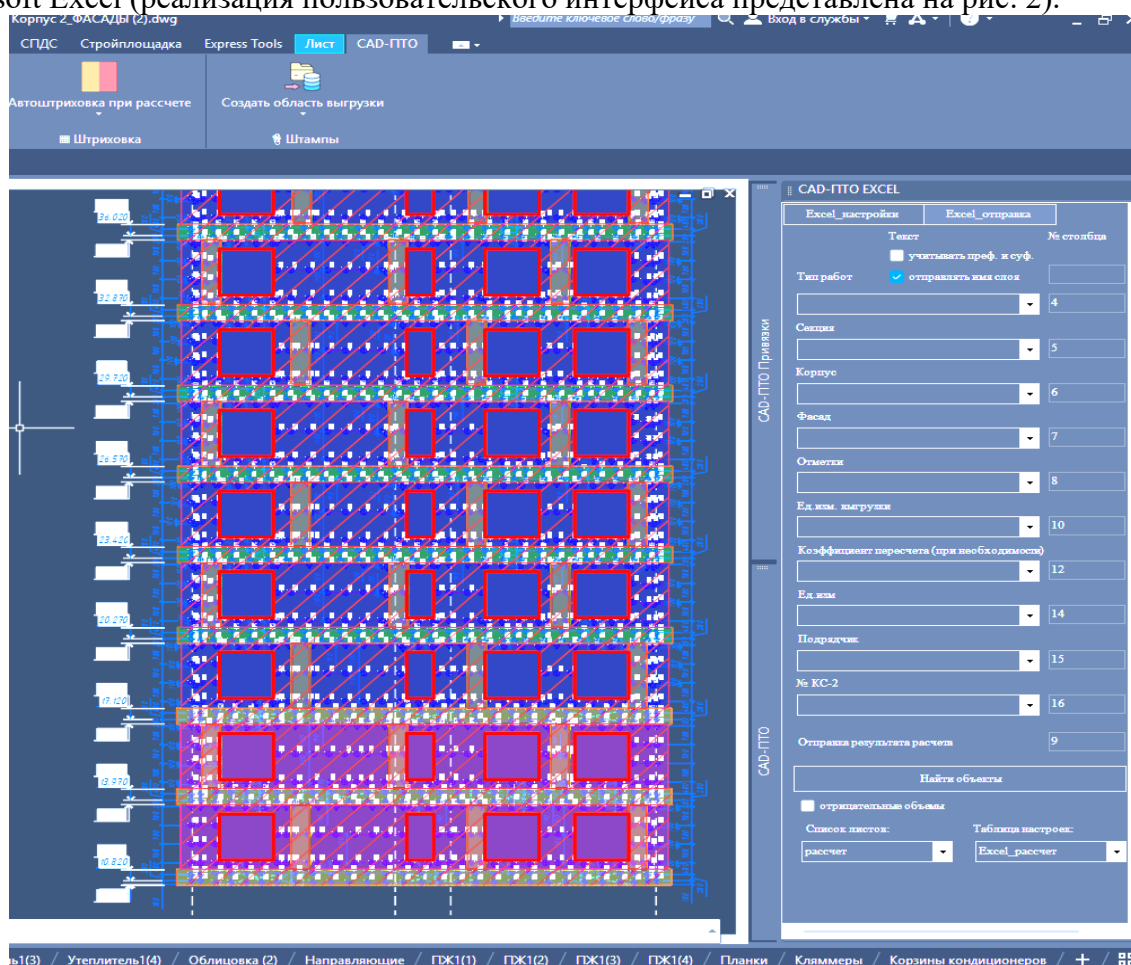


Рис. 2 – Панель интеграции с табличным хранилищем Excel: настройка соответствия параметров зон и столбцов таблицы

Fig. 2 – Excel table storage integration panel: setting up the mapping of zone parameters and table columns

С научной точки зрения, данная интеграция демонстрирует переход от линейного документооборота к сценарной модели сопровождения, где информация о ходе работ не только фиксируется, но и динамически синхронизируется с корпоративным уровнем управления. Это создаёт основу для применения методов интеллектуального анализа данных, прогнозирования сроков и оптимизации ресурсов в рамках АСУП.

Алгоритм сопоставляет значения по ключевому столбцу и записывает результаты в целевые ячейки, реализуя стратегию «последнее изменение имеет приоритет»:

/// <summary>

```
/// Передача данных из CAD в Excel с сопоставлением по ключу
/// </summary>
private void SyncToExcel(Worksheet sheet, DataGridView grid,
    int keyCol, int targetCol, int startRow, int endRow)
{
    var selectedValues = grid.SelectedCells
        .Cast<DataGridViewCell>()
        .Select(c => c.Value?.ToString())
        .Where(v => !string.IsNullOrEmpty(v))
        .Distinct().ToList();
    Range keyRange = sheet.Columns[keyCol];
    foreach (Range cell in keyRange.Cells)
    {
        if (cell.Row < startRow || cell.Row > endRow) continue;
        if (selectedValues.Contains(cell.Value?.ToString()))
        {
            var row = grid.Rows.Cast<DataGridViewRow>()
                .FirstOrDefault(r => r.Cells[keyCol-1].Value?.ToString() == cell.Value?.ToString());
            if (row != null)
                sheet.Cells[cell.Row, targetCol].Value = row.Cells[targetCol-1].Value;
        }
    }
}
```

Разработанная надстройка была апробирована в условиях реального строительного производства на объектах гражданского и инфраструктурного назначения в течение 2024–2025 годов. Основное внимание уделялось эффективности сопровождения исполнительной документации, удобству для инженеров ПТО и скорости реакции на изменения в проекте и на стройплощадке. Во всех случаях ПТО использовал AutoCAD в качестве базовой платформы и CAD-настройку — в качестве инструмента цифрового сопровождения ИД.

Основные результаты:

- Переход на «визуальное сопровождение» (работа через чертёж, а не Excel) снижает когнитивную нагрузку на инженера ПТО.
- Инженеры быстрее ориентируются в зонах, этапах и материалах при наличии сценарных подсказок и статусов в графике.

Результаты экспериментальной апробации подтвердили, что внедрение сценарного подхода в процессы производственно-технического сопровождения строительства позволяет не только ускорить оформление исполнительной документации, но и повысить её точность, прослеживаемость и соответствие требованиям нормативного контроля.

Наиболее значимыми эффектами стали: алгоритмическое выявление типовых несоответствий и случаев дублирования при оформлении актов; снижение зависимости от человеческого фактора при подсчётах и проверке зон; единое «пространство на чертеже» как источник истины: статус каждой зоны виден прямо на схеме; данные вводятся на объекте, а не в разрозненных таблицах - забыть или пропустить практически невозможно; не нужно вручную сверять акты и искать зоны - открыл чертёж и сразу видно, что закрыто, что в работе и что требует корректировки. Несмотря на положительные результаты, система имеет ряд ограничений. Сценарный подход реализован на уровне событийно-реактивной прикладной логики и не включает самостоятельного сценарного движка: сценарии трактуются как типовые инженерные ситуации, а не исполняемые автоматы.

Формальная модель $S=\langle I, P, D, A \rangle$ используется как методологический инструмент, обеспечивающий целостность описания процессов ПТО; декларативная спецификация сценариев в полном объёме выходит за рамки настоящей работы. Апробация выполнена на ограниченном наборе объектов и ориентирована на задачи оформления исполнительной документации; распространение подхода на смежные контуры (планирование, финансовый

контроль, межсистемный документооборот) рассматривается как направление дальнейшего развития.

Помимо методологических, система имеет ряд технических ограничений:

- отсутствует автоматическая связка с корпоративными АСУП (обмен идёт через таблицы и файлы);
- некоторые сценарии требуют ручного подтверждения или запуска (например, повторная приёмка или override);
- хранение данных реализовано через Excel, что ограничивает производительность при больших объёмах (более 10 000 записей) и затрудняет многопользовательский доступ

Это объясняется стратегией поэтапного развития: архитектура системы изначально проектировалась как лёгкая надстройка, не требующая глубокой ИТ-инфраструктуры и пригодная к развёртыванию в любом отделе ПТО без привлечения программистов.

На следующем этапе развития системы планируется:

1. Расширение сценарной библиотеки: добавление сценариев под подрядные договоры, смежников, проверки объёмов в связке с базой цен.
2. Углубление интеграции с документооборотом: автозаполнение шаблонов PDF-актов, взаимодействие с СЭД, экспорт в архивы исполнительной документации.
3. Поддержка нескольких версий проекта: отслеживание изменений проектных решений и автоматическое сравнение с фактическими зонами на чертеже.
4. Полуавтоматическое формирование актов: система будет предлагать готовый акт на основании выделенных зон и исторических данных.
5. Интеграция в мобильные решения: фиксация фото и комментариев с планшета или смартфона, синхронизируемая с чертежом.
6. Переход от чертежа к цифровому регистру: наращивание роли чертежа как основного носителя связей, документов и истории изменений.

Методологически проект демонстрирует реализацию инженерной автоматизации в условиях неполной информации, что ранее применялось лишь в стратегическом управлении. В строительстве это означает переход от линейного документооборота к сценарному, ситуационно-чувствительному сопровождению, в котором САД-среда становится не только инструментом графики, но и ядром для принятия решений.

Вывод. В статье представлена методология и архитектура цифрового сопровождения строительных работ в условиях неполной информации, основанная на сценарном подходе и реализованная на уровне событийно-реактивной прикладной логики в виде интегрированной надстройки к САД-системе.

Разработанная система включает:

- семантическую модель объектов чертежа с привязкой к ролям, параметрам и зонам ответственности;
- набор типовых сценарно-ориентированных инженерных ситуаций, охватывающих реальные процессы ПТО (поэтапное выполнение, корректировки, повторные предъявления, откаты и др.): поэтапное выполнение, корректировки, повторные предъявления, дубли, откаты, фотофиксация и паспорта;
- механизмы автоматического анализа чертежа, контроля зон, генерации ИД и выгрузки данных для внешних систем учёта.

Внедрение системы не требует глубокой ИТ-инфраструктуры и может быть реализовано в ПТО без привлечения программистов. Разработка демонстрирует, что переход от линейной логики документооборота к гибкой сценарной архитектуре позволяет качественно повысить эффективность работы инженерных служб, создать основу для будущей автоматизации активирования и подготовки отчётности, а также приблизить процессы ИД к формату «электронного журнала строительства».

Полученные результаты могут быть использованы как основа для дальнейшего научного исследования, а также внедрения в реальную строительную практику на уровне генподрядных и подрядных организаций. Единый формат S(I,P,D,A) для всех сценариев

обеспечил прямую связку методологии с практикой и позволил без доработок интегрировать результаты в регистры АСУП.

Библиографический список:

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации: федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ.
2. СП 48.13330.2019. Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004: национальный стандарт Российской Федерации: утв. приказом Минстроя России от 26.12.2019 № 861/пр. Москва: Стандартинформ, 2019. 38 с.
3. Приказ Минстроя РФ от 16.05.2023 № 344/пр «Об утверждении требований к составу и ведению исполнительной документации».
4. Официальный сайт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/>.
5. ГОСТ Р 70108-2025. Исполнительная документация в строительстве в электронном виде. Общие требования: национальный стандарт Российской Федерации: утв. и введ. в действие приказом Росстандарта от 31.03.2025 № 1696-ст. Москва: Стандартинформ, 2025. Дата введения 2025-10-01.
6. Makesh A.P. Analysis of uncertainty in a construction project //YMER Digital. 2021. Vol. 20. N 12. P. 324-331.
7. Волков С.А., Хрипко Т.В. Применение XML-схем при формировании структуры информационной модели объектов капитального строительства // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 11. С. 1570-1583. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.11.1570-1583.
8. Getuli V. Ontologies for Knowledge modeling in construction planning: Theory and application. Open Access Publishing, 2022.
9. Xue F., Wu L., Lu W. Semantic enrichment of Building and City Information Models: a ten-year review // Advanced Engineering Informatics. 2021. Vol. 47. Art. 101245. DOI: 10.1016/j.aei.2020.101245.
10. Belsky M., Sacks R., Brilakis I. Semantic enrichment for building information modeling // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2017. Vol. 31. N 4. P. 261-274. DOI: 10.1111/mice.12128.
11. Kabzhan Z., Shakhnovich A., Gorshkov S., Bilinskis E. Semantic and ontology-based analysis of regulatory documents for construction industry digitalization // Frontiers in Built Environment. 2025. Vol. 11. Art. 1575913. DOI: 10.3389/fbuil.2025.1575913.
12. Zhang P., Chen K., Liu J. A framework for generic semantic enrichment of BIM models // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2023. Vol. 38. N 15. P. 2045-2063. DOI: 10.1111/mice.12964.
13. Turkan Y., Bosché F., Haas C.T., Haas R. Automated progress tracking using 4D schedule and 3D sensing technologies //Automation in Construction. 2012. Vol. 22. P. 414-421. DOI: 10.1016/j.autcon.2011.10.003.
14. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: literature review and future needs//Automation in Construction. 2014. Vol. 38. P. 109-127. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.
15. Golparvar-Fard M., Peña-Mora F., Savarese S. Application of D4AR — a 4-Dimensional Augmented Reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication // ITcon. 2009. Vol. 14. P. 129-153.
16. S. Halder., K. Afsari. Robots in Inspection and Monitoring of Buildings and Infrastructure: A Systematic Review //A Systematic Review. Appl. Sci. 2023, Vol. 13, N 4. Art. 2304. DOI: 10.3390/app13042304.
17. Лapidус А.А. Научно-техническое сопровождение изысканий, проектирования и строительства как обязательный элемент достижения требуемых показателей проекта // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 11. С. 1428-1437. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.11.1428-1437.
18. Каракозова И.В., Мозговой А.В., Собина Е.В., Шадрина Г.В. Исследование подготовительных работ для использования BIM-технологий на примере проектирования медицинских организаций // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 1. С. 100-111. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.1.100-111.
19. Санталова М.С., Соклакова И.В., Горлов В.В., Муза Ю.А. Автоматизация проектных работ в строительной компании в условиях цифровизации // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2022. № 4. С. 156-167.
20. Martinez-Rojas M., Marin N., Vila M.A. The role of information technologies to address data handling in construction project management //Journal of Computing in Civil Engineering. 2016. Vol. 30. N 4. P. 04015064. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000538.

References:

1. Urban Planning Code of the Russian Federation: Federal Law No. 190-FZ of December 29, 2004. (In Russ)
2. SP 48.13330.2019. Organization of construction. Updated version of SNiP 12-01-2004: National standard of the Russian Federation: approved by Order of the Ministry of Construction of Russia dated December 26, 2019 No. 861/pr. Moscow: Standartinform, 2019:38 p. (In Russ)
3. Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated 05/16/2023 No. 344/pr "On approval of requirements for the composition and maintenance of executive documentation." (In Russ)
4. The official website of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/>. (In Russ)

5. GOST R 70108-2025. Executive documentation in construction in electronic form. General requirements: national standard of the Russian Federation: approved and introduced effective by Order of Rosstandart dated 03/31/2025 No. 1696-art. Moscow: Standartinform, 2025. Date of introduction 2025-10-01. (In Russ)
6. Makesh A.P. Uncertainty analysis in a construction project. *YMER Digital*. 2021;20(12):324-331.
7. Volkov S.A., T. Khripko.V. Application of XML schemas in the formation of the structure of the information model of capital construction facilities. *Bulletin of MGSU*. 2020;15(11):1570-1583. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.11.1570-1583. (In Russ)
8. Getuli V. Ontologies for knowledge modeling in construction planning: theory and application. Open Access publication, 2022.
9. Xue F., Wu L., Lu U. Semantic enrichment of information models of buildings and cities: a ten-year review. *Advanced engineering computer science*. 2021;47. Article 101245. DOI: 10.1016/j.aei.2020.101245.
10. Belsky M., Sachs R., Brilakis I. Semantic enrichment for building information modeling. *Computer-aided design of buildings and infrastructure*. 2017;31(4): 261-274. DOI: 10.1111/mice.12128.
11. Kabzhan Z., Shakhnovich A., Gorshkov S., Bilinskis E. Semantic and ontological analysis of regulatory documents on digitalization of the construction industry. *Boundaries in the construction environment*. 2025;11. Article 1575913. DOI: 10.3389/fbuil.2025.1575913.
12. Zhang P., Chen K., Liu J. A framework for generalized semantic enrichment of BIM models. *Computer-aided design of buildings and infrastructure*. 2023;38(15):2045-2063. DOI: 10.1111/mice.12964.
13. Turkan Yu., Boche F., Haas K.T., Haas R. Automated tracking of work progress using 4D planning and 3D sensing technologies. *Automation in construction*. 2012;22:414-421. DOI: 10.1016/j.autcon.2011.10.003.
14. Volk R., Stengel J., Shultman F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: literature review and future needs. *Automation in construction*. 2014;38:109-127. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.
15. Golparvar-Fard M., Pena-Mora F., Savarese S. Application of D4AR— a 4-dimensional augmented reality model for automating the collection, processing and transmission of construction progress monitoring data. *ITcon*. 2009;14:129-153.
16. S. Halder, K. Afsari. Robots in the inspection and monitoring of buildings and infrastructure: A Systematic Review. *A Systematic Review. Appendix Sci*. 2023;13(4.) Article 2304. DOI: 10.3390/app13042304.
17. Lapidus A.A. Scientific and technical support of surveys, design and construction as a mandatory element of achieving the required project indicators. *Bulletin of MGSU*. 2019;14(11):1428-1437. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.11.1428-1437. (In Russ)
18. And Karakozova.V., And Mozgovoy.V., Sobina E.V., Shadrina G.V. A study of preparatory work for the use of Bim technologies using the example of designing medical organizations. *Bulletin of MGSU*. 2020; 15(1):100-111. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.1.100-111. (In Russ)
19. Santalova M.S., Soklakova I.V., Gorlov V.V., Muza Yu.A. Automation of design work in a construction company in the context of digitalization. *Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture*. 2022; 4.:156-167. (In Russ)
20. Martinez-Rojas M., Marin N., Vila M.A. The role of information technology in solving data processing problems in construction project management. *Journal of Computing Technology in Civil Engineering*. 2016.;30(4): 04015064. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000538.

Сведения об авторе:

Виталий Юрьевич Баканин, аспирант, кафедра компьютерного моделирования и автоматизации проектирования; mail@vitalijb.ru

Information about the author:

Vitaly Yu. Bakanin, Postgraduate student, Department of Computer Modeling and Design Automation; mail@vitalijb.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов/The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 20.11.2025.

Одобрена после рецензирования/Reviced 29.12.2025.

Принята в печать/Accepted for publication 26.01.2026.