

# Разработка системы для цифрового инженерно-строительного контроля с возможностью валидации текущего состояния по отношению к проектному на основе объективных визуальных данных

В.А. Екимовская, М.Г. Жабицкий

**Аннотация**— Во время строительства капитальных и промышленных объектов для всех заинтересованных лиц необходима прозрачность процессов строительно-монтажных работ. Для этого нанимают работников технического надзора. Он включает в себя не только контроль за соответствием проектных решений, но и за качеством используемых материалов, выполнением строительных работ в соответствии с требованиями технологических процессов, а также контроль за соблюдением техники безопасности на объекте. Специалист по техническому надзору также отвечает за своевременное выявление и устранение дефектов и недочетов в процессе строительства. Одним из важных аспектов технического надзора является контроль за соблюдением сроков выполнения работ и управление ресурсами. Это включает в себя контроль за использованием строительной

**Ключевые слова**— авторский надзор, календарно-сетевое планирование, сферическая съёмка, строительно-монтажные работы, трёхмерная модель, цифровое проектирование, цифровые двойники

## I. ВВЕДЕНИЕ

Рост производительности труда в строительстве во всем мире за последние десятилетия значительно отстает от других отраслей промышленности и экономики в целом. Сегодня в России и в мире для управления сроками строительства используют различные программы календарно-сетевого планирования, для отслеживания процесса приходится посещать строительную площадку и отмечать прогресс вручную в бумажных документах и в используемых информационных системах.

Это недостаточно автоматизированный процесс, весьма трудоемкий, с высокими требованиями к квалификации контролеров и с дефектами в достоверности. Новизна предлагаемого в настоящем проекте решения состоит в применении цифровых технологий для получения регулярного потоков объективных цифровых данных из планово-проектной документации и с сооружаемого объекта в реальном времени, передаче, хранении и анализе этих данных на жизненном цикле проекта сооружения объекта. Технологии работы с цифровыми двойниками порождают данные для анализа, который может выполняться как высококвалифицированными

экспертами, так и цифровыми инструментами обработки информации с применением технологий искусственного интеллекта.

Во время строительства капитальных и промышленных объектов для всех заинтересованных лиц необходима прозрачность процессов строительно-монтажных работ. Для этого нанимают работников технического надзора. Он включает в себя не только контроль за соответствием проектных решений, но и за качеством используемых материалов, выполнением строительных работ в соответствии с требованиями технологических процессов, а также контроль за соблюдением техники безопасности на объекте. Специалист по техническому надзору также отвечает за своевременное выявление и устранение дефектов и недочетов в процессе строительства.

Одним из важных аспектов технического надзора является контроль за соблюдением сроков выполнения работ и управление ресурсами. Это включает в себя контроль за использованием строительной техники, материалов и рабочей силы, чтобы обеспечить оптимальное использование ресурсов и соблюдение графика строительства.

Для более удобного контроля выполнения работ на строительной площадке часто применяются различные технические средства, такие как строительная информационная модель (СИМ) или 4D-визуализация. Описание СИМ представлено в [1, 2]. Они предназначены для оптимизации процесса СМР. Ее особенность заключается в том, что она объединяет трехмерную модель объекта строительства с календарно-сетевым графиком. Это позволяет более наглядно представить последовательность и сроки выполнения работ, что способствует более эффективному планированию и координации процесса строительства. Такие технические средства помогают выявлять возможные проблемы или коллизии между различными этапами работ, что в свою очередь способствует повышению эффективности строительного процесса.

Данные инструменты необходимы, в частности, для Заказчика и Генерального подрядчика, у которых не всегда есть возможность присутствия на строительной площадке. Согласно СНиП 12-01-2004 3.7 [3]

«Застройщик (Заказчик) вправе осуществлять контроль за ходом и качеством выполняемых работ, соблюдением их сроков, качеством и правильностью использования применяемых материалов, изделий, оборудования, не вмешиваясь в оперативно-хозяйственную деятельность исполнителя работ».

Применение 3D модели при сооружении сложного инженерного объекта имеет ряд преимуществ. В первую очередь, она позволяет выявить возможные коллизии на стадии проектирования, что способствует улучшению качества и безопасности строительных работ. Однако важно также сохранять состояние трехмерной модели в конфигурации "as build" на протяжении всего жизненного цикла объекта. Это обеспечивает возможность использования 3D модели при эксплуатации, техническом перевооружении, реконструкции или реновации. Таким образом, 3D модель является не только инструментом для оптимизации проектирования и строительства, но и ценным ресурсом на различных этапах жизненного цикла инженерного объекта.

Использование трехмерной модели в сочетании с системами календарно-сетевого планирования позволяет обнаруживать пространственно-временные коллизии на строительной площадке, управлять выполнением графика строительства с помощью визуального контроля и планировать поставки оборудования и материалов [4]. Для визуального мониторинга состояния работ на площадке могут применяться различные технические средства, включая сферические панорамные камеры, чьи изображения интегрируются с трехмерной моделью сооружения.

В зарубежных странах эффект от BIM (Building Information Modeling) технологий доказан уже давно, поэтому инструменты развиваются и имеют высокий уровень готовности. При этом в России нет директива BIM. BIM - это методология, которая позволяет создавать цифровые модели зданий с учетом всех аспектов и характеристик здания, таких как геометрия, материалы, конструкции, электрика, вентиляция и другие.

Однако, существует ГОСТ Р 10.0.03-2019 описывающий работу с информационной моделью [5]. В том числе он описывает работу с бизнес-процессами, информационным обменом, участниками процесса.

Работа относится к сфере цифрового инжиниринга для атомной отрасли. Более конкретно - решение на современном уровне практических инженерных задач, возникающих в ходе сооружения сложных инженерных объектов, таких как АЭС (направление «умная цифровая стройплощадка»).

## II. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

История создания технологий САПР (систем автоматизированного проектирования) и 4D визуализации тесно связана с развитием компьютерных технологий и программного обеспечения для инженерного и архитектурного проектирования [6]. САПР начали разрабатывать в середине XX века, когда появились

первые компьютеры и возможность использовать их для создания и редактирования чертежей.

4D визуализация, сочетающая в себе трехмерное моделирование и временной аспект, стала активно развиваться в начале 21 века. Эта технология позволяет создавать виртуальные модели, отражающие изменения объекта во времени. 4D визуализация позволяет не только визуализировать проекты в трех измерениях, но и учитывать временные параметры, такие как последовательность выполнения работ, длительность этапов и т.д. [7] Цель развития технологий САПР и 4D визуализации - необходимость повышения эффективности проектирования и строительства, улучшения контроля за процессами и сокращения времени выполнения проектов. С помощью этих технологий проектировщики и строители могут более точно планировать работы, выявлять проблемы на ранних стадиях и оптимизировать процессы.

Системы автоматизированного проектирования (САПР) являются важным инструментом для проектирования и управления строительством. Они позволяют инженерам и архитекторам создавать, анализировать и моделировать объекты с помощью компьютерных программ. САПР облегчают процесс проектирования, уменьшают вероятность ошибок и ускоряют разработку проектов. 4D визуализация - это инновационная технология, которая объединяет 3D моделирование с временным измерением. Это позволяет создавать виртуальные модели, отражающие не только геометрические параметры объекта, но и его изменения во времени. 4D визуализация позволяет отслеживать динамику строительства, планировать работы, оптимизировать процессы и улучшить контроль за ходом строительства. В России нет четкого требования к детализации рабочей документации. Основные положения прописаны в ГОСТ Р 21.101-2020 «Основные требования к проектной и рабочей документации» [8]. Министерство регионального развития РФ опубликовало Письмо от 8 августа 2008 г. № 19512-СМ/08 (Д) «О разъяснении норм Положения о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [9].

Смысл программ для строительного контроля состоит в том, чтобы все заинтересованные люди, начиная с проектировщиков, завершая строителями и людьми, вводящими здание в эксплуатацию, находились в едином информационном пространстве.

Средства визуального контроля для отслеживания процесса строительства также активно развивались с развитием технологий. Существует несколько средств визуального контроля, которые используются для отслеживания процесса строительства и обеспечения его эффективности и качества. Некоторые из них включают в себя дроны, технологии 4D визуализации, интерактивные планы и чертежи, умные очки и веб-камеры и системы видеонаблюдения. С каждым годом появляются всё новые технологии.

В данной работе проведен анализ решений, позволяющих визуально наблюдать прогресс выполнения

СМР с помощью сферического типа панорамных снимков и сравнивать с 3D моделью для мониторинга сроков выполнения работ.

Иностранных программ по строительному контролю достаточно много и с каждым годом их количество увеличивается. В том числе программы для управления строительством и визуализации проектов: Constra, Oculo, DroneDeploy Ground, HoloBuilder, Reconstruct's Visual Command Center.

Для сравнения используем следующие критерии: Аналитика, туры, коллобарация, интеграция, стоимость решения, управление проектом, UI, функционал, поддержка разработки. Каждое решение имеет недостатки хотя бы по одному из перечисленных критериев, ниже приведены два решения, которые имеют наилучшие показатели (таблица 1).

Таблица 1. Сравнительная таблица зарубежных технологий

	Cupix	Reconstruct's Visual Command Center
Аналитика	Имеет ограниченные инструменты для анализа данных и метрик строительства	Продвинутые инструменты для анализа данных и метрик строительства
Туры	Простой процесс создания виртуальных туров без необходимости в специальном оборудовании	Есть инструменты для создания виртуальных туров по строительным объектам
Коллобарация	Возможность работы в реальном времени. Программа позволяет работать с данными в реальном времени	Предоставляют возможность совместной работы над проектом, обмена комментариями и информацией
Интеграция	Не так легко интегрируется с другими программами, как другие аналоги	Программа может интегрироваться с другими популярными программами для более эффективного управления проектом
Стоимость решения	Бесплатный план: доступен. Платные планы: от 19 долларов в месяц за пользователя	Самая дорогая по сравнению с другими аналогами
Управление проектом	Возможность проведения виртуальных инспекций, анализа прогресса строительства и генерации отчетов	Функционал управления проектом, включая возможность создания виртуальных туров, добавления аннотаций и измерений
UI	Интуитивно понятный пользовательский интерфейс	Сложность использования из-за расширенного функционала может потребовать больше времени на освоение
Функционал	Позволяет создавать 3D-туры с помощью фотографий,	Возможность создания 3D-моделей строительных проектов на основе

	сделанных обычной камерой или 360-градусной камерой	дронов и других источников
--	---	----------------------------

Анализируя зарубежные программы для мониторинга текущего состояния объекта, может сделать вывод:

1. Большое количество развивающихся программ говорит об интересе к сфере мониторинга строительного процесса.
2. Каждая программа имеет несколько недостатков по заданным критериям, как минимум 2 критерия.
3. Практически все программы имеют повышенную стоимость решения, кроме программы Cupix.
4. Все программы имеют возможность совместной работы в одном информационном пространстве, а также возможность проведения технического тура по сооружению.

Рассмотрев иностранные аналоги разрабатываемой программы, были выявлены основные требования к системе, которые описываются ниже.

Конкурентным преимуществом создаваемой технологии состоят в использование собственного инновационного алгоритма работы с данными, ядро которого реализовано на полностью открытом для кода (собственные разработки и открытый исходный код), что обеспечивает независимость продукта, использование комплекса сквозных цифровых инструментов и подходов в продукте: цифровое проектирование, цифровые инструменты управления проектом, сквозные бесшовные технологии передачи цифровых данных, понимание целей и задач автоматизируемых бизнес-процессов в предметной области и способов их реализации «как есть», на текущем технологическом уровне, массовый характер объекта автоматизации, порождающий объективную потребность в эффективном продукте для цифровой трансформации строительного контроля, реализации программного продукта "под ключ" от нахождения заказчика, сбора требований до создания полномасштабной системы для инженерно-строительного контроля.

Особенностями разрабатываемого продукта является: кардинальное повышение производительности отдела по управлению строительством объекта, авторского и технического контроля по сравнению с ручной валидацией состояний объекта, автоматическая синхронизация параметров отображения сравниваемых проектных данных и объективных данных съемки, накопление истории данных (создание база данных), возможность контроля удаленно территориально размещенных объектов, предоставление продукта, как сервиса, возможность консолидации нескольких проектов (объектов строительства).

#### А. Обзор российских программ

Такое разнообразие зарубежных систем говорит о том, что данная технология востребована. На российском рынке таких программ не так много.

Готовые продукты на российском рынке: программа от компании Неолант, так же существует программа СФЕРА, где реализована только часть со сферической съемкой, без

привязки к 3D модели. Программа от компании Неолант совмещает в себя необходимый функционал на первом этапе:

- синхронный поворот, масштабирование и перемещение по сферической съемке и 3D модели;
- выбор даты и автоматическое подгружение из базы снимков и текущего состояния модели.
- а также мини- карта с возможностью просмотра плана по которому мы движемся.

Данная программа еще не является общедоступной, поэтому специально для нашей команды была проведена демонстрация разрабатываемого продукта.

Основными конкурентными преимуществами СФЕРЫ являются предельная простота использования, скорость получения требуемой информации и невысокая стоимость.

Недостатком программы является не возможность валидации текущего состояния с проектным.

### III. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

В данном разделе проводится всестороннее изучение проблемы и анализ возможных путей ее решения. В процессе анализа выявляются следующие аспекты:

- потребители и их потребности;
- требования заинтересованных сторон;
- имеющиеся ограничения.

Затем рассматриваются различные варианты для решения поставленной задачи. После этого создается системная модель на уровне системного анализа и проводится функциональный анализ. Этот этап поможет выявить оптимальное решение и спланировать дальнейшие шаги для достижения поставленных целей.

#### A. Уровень анализа применения

Рассмотрим бизнес-процесс до внедрения Системы [10], когда заинтересованные лица вынуждены посещать периодически (несколько раз в неделю) несколько строительных площадок, так как у одной строительной компании много проектов одновременно. На рисунке 1 представлена схема, которая описывает процесс получения модели до внедрения системы.

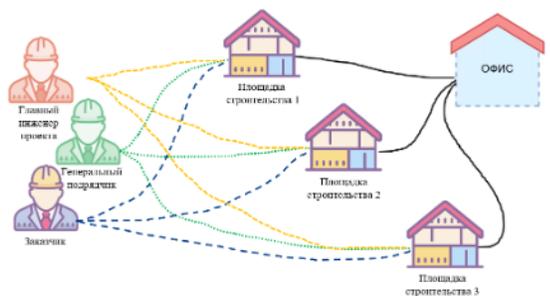


Рис. 1. Схема проекта AS IS

Таким образом каждое заинтересованное лицо тратит много времени на передвижение между площадками, особенно остро эта проблема ощущается, если компании имеют строительные площадки в разных городах или в

разных странах. Также дополнительными затратами в таком случае являются:

1. Оплата проживания в отеле;
2. Оплата командировочных средств;
3. Проезд (авиаперелет, поезд, авто трансфер);
4. Оплата труда сотрудникам во время проезда;

Для точной оценки всех функциональных требований необходимо рассмотреть несколько заинтересованных лиц [11, 12]. В данной работе будут рассмотрены:

- ST.01 – Строители на площадке (отрицательный стейкхолдер)
- ST.02 – Главный инженер проекта, прораб
- ST.03 – Заказчик проекта
- ST.04 – Генеральный подрядчик
- ST.05 – Инвестор

Таблица 2: Первоначальные требования стейкхолдеров

ID	Заинтересованная сторона	Требования первоначальные
ST.01	Строители на площадке	Конечный пользователь не хочет выполнять лишнюю работу при внедрении продукта
ST.02	Главный инженер проекта, прораб	Пользователи должны иметь возможность контролировать качество работы в любой момент времени
ST.03	Заказчик проекта	Пользователи должны иметь возможность контролировать процесс строительства в любой момент времени
ST.04	Генеральный подрядчик	Пользователи должны иметь возможность контролировать сроки работы в любой момент времени
ST.05	Инвестор	Пользователи должны иметь возможность контролировать стоимость строительства в любой момент времени

После определения первоначальных требований стейкхолдеров, их необходимо декомпозировать до конечных требований.

Требования строителя декомпозируются на следующие: камера должна делать съемку менее 10 минут на 1 кадр, камера должна иметь вес менее 1 кг, камера должна быть ударостойкая, камера должна автоматически делать съемку, в системе должен быть совмещен план график строителя со временем съемки, на каске должно быть предусмотрено крепление камеры.

Требования генерального подрядчика декомпозируются на следующие: ИС должна определять угол просмотра фото, ИС должна сопоставлять 3D модель с фотографией, в ИС при прокрутке одного вида, с той же скоростью должен прокручиваться второй вид, открывание ИС должно производиться на разных ОС, ИС должна иметь дружелюбный для пользователей интерфейс, в ИС должно быть интуитивно понятное расположение кнопок, в ИС должны располагаться два окна.

Требования Заказчика и главного инженера декомпозируются следующим образом: камера должна иметь разрешение "рыбий глаз", камера должна быть 2 мегапикселя 1080P, камера должна иметь фонарь, фонарь в камере должен бить естественного света, передача фото в базу данных должна происходить через 10 минут после

получения изображения, передача фото в ИС должна происходить из базы данных, нахождение камеры должно быть в вымеренных местах, ИС должна включать камеру в 9:00, 13:30, 18:00

Требования инвестора в данной работе не учитываются, так как они связаны с развитием продукта и на первой итерации не имеют большой вес.

**В. Выявление альтернатив решения проблемы**

В данном разделе рассмотрим альтернативы решения данной задачи:

А. Общение по видеосвязи с кем-либо на площадке;

Б. Система строительного контроля на основе сопоставления сферической съемки и 4D модели;

В. Использование дрона для мониторинга за процессом строительства.

Для анализа альтернатив будет использован мультикритериальный анализ. Данный метод позволяет рассмотреть несколько вариантов решения с учетом нескольких критериев, их относительной важности для конкретного процесса деятельности.

Критерии для оценки альтернатив показаны в таблице 3.

Таблица 3: Критерии оценки альтернатив

Критерий	Вес
<b>Стоимость</b>	<b>40</b>
Стоимость покупки системы	10
Стоимость использования системы	25
Стоимость ремонта системы	5
<b>Удобство использования</b>	<b>60</b>
Удобство во время ежедневного использования	20
Удобство сравнения состояний	15
Усилия для начала использования	10
Удобство для других участников (строителей)	10
Удобство ремонта системы	5
<b>Сумма</b>	<b>100</b>

Для дальнейшей работы с критериями необходимо определить функции полезности. В стоимость использования видеосвязи входят: стоимость абонентской платы за интернет. В стоимость использования разрабатываемой системы входят: стоимость использования сервера, на котором расположен веб-интерфейс. В стоимость использования дрона входят: калибровка и настройка системы, проверка работоспособности камеры и гимбала, а также общая проверка состояния дрона. Также стоит учитывать возможные расходы на программное обновление дрона и его компонентов.

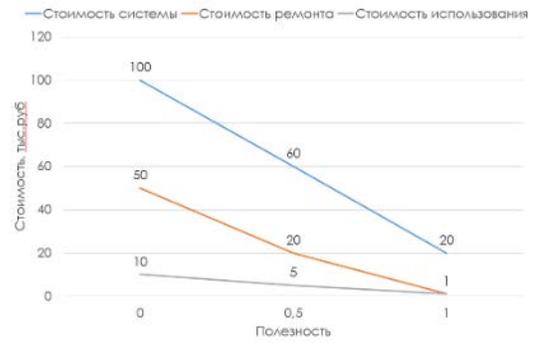


Рис. 2. Функция полезности стоимости

Для определения функции полезности удобства использования будем использовать следующую систему баллов:

А. Общение по видеосвязи с кем-либо на площадке;

Б. Система строительного контроля на основе сопоставления сферической съемки и 4D модели;

В. Использование дрона для мониторинга за процессом строительства.

Удобство во время ежедневного использования:

- 0 – нужны усилия для использования системы
- 0.5 – необходимы минимальные усилия
- 1 – не требует дополнительных усилий

Удобство сравнения состояний (сейчас и по плану)

- 0 – нет возможности сравнить состояния
- 0.5 – сравнение состояний с помощью переключения между окнами

Усилия для начала использования (первое использование)

- 0 – необходимы исходных данные
- 0.5 – необходима настройка перед началом использования
- 1 – не нуждается в особой настройке

Удобство для других участников (строителей)

- 0 – нужны усилия от строителей
- 0.5 – нужны усилия для включения системы
- 1 – не нужны усилия посторонних лиц

Удобство ремонта системы

- 0 – сложный ремонт системы
- 0.5 – ремонт средней сложности
- 1 – ремонт является простым

Оценим альтернативы по заданным критериям (Таблица 4).

Таблица 4: Определение возможностей концепций

	А	Б	В	Сумма коэффициентов
Стоимость покупки системы	1	0,5	0	1,5
Стоимость использования системы	1	0,5	0	1,5
Стоимость ремонта системы	1	0,5	0	1,5
Удобство во время	1	1	0	2

ежедневного использования				
Удобство сравнения состояний (сейчас и по плану)	0	1	0,5	1,5
Усилия для начала использования (первое использование)	1	0	0	1
Удобство для других участников (строителей)	0	1	0,5	1,5
Удобство ремонта системы	1	0,5	0	1,5

Затем производим расчет и перераспределение баллов с учетом веса из таблицы 3, а также суммарные баллы (Таблица 5).

Таблица 5: Итоговые коэффициенты концепций

	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
Стоимость покупки системы	6,7	3,3	0,0
Стоимость использования системы	16,7	8,3	0,0
Стоимость ремонта системы	3,3	1,7	0,0
Удобство во время ежедневного использования	10,0	10,0	0,0
Удобство сравнения состояний (сейчас и по плану)	0,0	10,0	5,0
Усилия для начала использования (первое использование)	10,0	0,0	0,0
Удобство для других участников (строителей)	0,0	6,7	3,3
Удобство ремонта системы	3,3	1,7	0,0
<b>ИТОГ</b>	<b>50,0</b>	<b>41,7</b>	<b>8,3</b>

Концепция А. Общение по видеосвязи с кем-либо на площадке – имеет высокие баллы по стоимости использования, но не имеет функционала для сравнения состояний, что является отсекающим критерием.

Концепция Б. Система строительного контроля на основе сопоставления сферической съемки и 4D модели – занимает второе место по сумме критериев и является самым подходящим вариантом

Концепция В. Использование дрона для мониторинга за процессом строительства – альтернатива с самыми низкими показателями.

Таким образом была выбрана система строительного контроля на основе сопоставления сферической съемки и 4D модели, как самая выгодная альтернатива среди рассмотренных.

У разрабатываемой системы есть ограничения:

- Стоимость разработки не должна превышать 100 тысяч рублей, в ином случае система не будет так актуальна;
- Веб-приложение должно иметь возможность подгружать большого размера файлов 3D и сферической съемки;
- Система должна иметь интуитивно понятный интерфейс;

- Возможность использовать приложение на разных устройствах, в том числе компьютер и телефон.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье был произведен обзор технологий для строительного контроля за объектом, моделирования объектов в формате 4D и сферической съемки. Обзор показал актуальность выбранной темы, так как программы для мониторинга за процессом строительства за рубежом развиваются с высокой скоростью, в этом году такие программы начали разрабатываться в России. Были выявлены недостатки этих программ, а также преимущества. Так, например, явным недостатком является стоимость решений, а преимуществом – возможность совместной работы над одной моделью и проведением виртуальных технических туров. Анализ готовых решений позволит создать собственную программу с учетом всех особенностей.

В России были найдены 2 программы: СФЕРА и Неолант. СФЕРА имеет неполный функционал, в отличие от Неолант, при этом эта программа от компании Неолант еще не выпущена в производство, а имеет лишь локальное использование. В связи с этим можно говорить об уникальности разрабатываемой системы, как единственной на российском рынке. Из обзора видно, что на российском рынке существует достаточное количество отечественных САПР, которые могут быть аналогами зарубежных систем. Однако, когда речь идет об объектах с большим количеством элементов на 3D модели, мнения о российских продуктах расходятся. В любом случае, развитие отечественных САПР определяется потребностями рынка, которые соответствуют Постановлению Правительства [13] и уходу иностранных разработчиков, что означает, что в ближайшие годы разрыв между российскими и западными продуктами в области обработки данных будет уменьшаться.

Проанализированы стейкхолдеры и декомпозированы их требования к системе. Данный подход поможет рассмотреть решение проблемы системно, с разных сторон, учитывая все заинтересованные лица. Важным этапом стало выявление альтернатив проектированной системы для мониторинга строительного процесса. Среди трёх концепций и выбрана самая выгодная по нескольким критериям (стоимость и удобство использования).

Рассмотрены ограничения системы, которые необходимо учитывать во время проектирования системы для корректной работы приложения и удобства использования.

В конце статьи описаны функционально-технические требования, написанные с учетом декомпозированных требований стейкхолдеров. Требования включают в себя 6 основных пунктов, необходимые для минимального функционала.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] СП 333.1325800.2017. Свод правил информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. 40 с.

- [2] СП 333.1325800.2020. Свод правил информационное моделирование в строительстве Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. 226 с.
- [3] Организация строительства СНИП 12-01-2004. Федеральное агентство по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (Росстрой). 31 с.
- [4] Mil-Std-881b 25 March 1993 Department of Defense Handbook Work Breakdown Structure, 1993. 138 с.
- [5] ГОСТ Р 10.0.03-2019. Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. Информационное моделирование в строительстве. Справочник по обмену информацией. Часть 1. Методология и формат. 32 с.
- [6] Fischer, M. Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction. *Journal of Construction Engineering and Management: Stanford University*. 135 с.
- [7] Visualization in 4D Construction Management Software: A Review of Standards and Guidelines // ResearchGate [сайт]. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/269192654\\_Visualization\\_in\\_4D\\_Construction\\_Management\\_Software\\_A\\_Review\\_of\\_Standards\\_and\\_Guideline](https://www.researchgate.net/publication/269192654_Visualization_in_4D_Construction_Management_Software_A_Review_of_Standards_and_Guideline)
- [8] ГОСТ Р 21.101-2020 Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации. 40 с.
- [9] Министерство регионального развития Российской Федерации, Письмо от 8 августа 2008 г. N 19512-СМ/08 (с изм., внесенными Письмом Минрегиона РФ от 24.10.2008 N 27321-ИМ/18). 1 с.
- [10] ГОСТ Р 57193 - 2016 (ISO/IEC/IEEE 15288:2015). Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. - Введ. 01.11.17. 100 с.
- [11] ГОСТ Р 59194-2020. Управление требованиями. Основные положения. - Введ. 01.06.21. 29 с.
- [12] В.К. Батоврин. Моделе-ориентированная системная инженерия. Метод системной инженерии ARCADIA. Основные понятия. Учебно-методическое пособие, Москва – 2021 38 с.
- [13] Постановление Правительства Российской Федерации от 27.05.2022 № "О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 г. № 1431". 4 с.

Статья получена 14 июня 2024.

Жабицкий Михаил Георгиевич, Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ, Заместитель директора ВИШ, [jabitsky@mail.ru](mailto:jabitsky@mail.ru)

Екимовская Валерия Алексеевна, Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ, магистрант, [lega.ek00@mail.ru](mailto:lega.ek00@mail.ru)

# Development of a system for digital structural engineering control with the ability to validate the current state against the design state based on objective visual data

V.A. Ekimovskaya, M.G. Zhabitsky

**Abstract-** During the construction of capital and industrial facilities, transparency of construction and installation processes is necessary for all stakeholders. For this purpose technical supervision workers are hired. It includes not only control over the compliance of design solutions, but also over the quality of materials used, the performance of construction work in accordance with the requirements of technological processes, as well as control over compliance with safety at the site. A specialist in technical supervision is also responsible for the timely identification and elimination of defects and deficiencies in the construction process. One of the important aspects of technical supervision is control over compliance with the deadlines and resource management. This includes control over the utilization of construction equipment.

**Keywords-** author's supervision, calendar and network planning, spherical survey, construction and installation works, three-dimensional model, digital design, digital twins

## REFERENCES

- [1] SP 333.1325800.2017. Code of rules information modeling in construction. Rules for the formation of information model of objects at various stages of life cycle. 40 c.
- [2] SPP 333.1325800.2020. Code of rules information modeling in construction Rules for the formation of an information model of objects at various stages of the life cycle. 226 c.
- [3] Organization of construction SNIP 12-01-2004. Federal Agency for Construction and Housing and Communal Services (Rosstroy). 31 c.
- [4] Mil-Std-881b 25 March 1993 Department of Defense Handbook Work Breakdown Structure, 1993. 138 c.
- [5] GOST R 10.0.03-2019. System of standards for information modeling of buildings and structures. Information modeling in construction. Handbook of information exchange. Part 1. Methodology and format. 32 c.
- [6] Fischer, M. Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction. Journal of Construction Engineering and Management: Stanford University. 135 c.
- [7] Visualization in 4D Construction Management Software: A Review of Standards and Guidelines // ResearchGate [website]. - URL: [https://www.researchgate.net/publication/269192654\\_Visualization\\_in\\_4D\\_Construction\\_Management\\_Software\\_A\\_Review\\_of\\_Standards\\_and\\_Guideline](https://www.researchgate.net/publication/269192654_Visualization_in_4D_Construction_Management_Software_A_Review_of_Standards_and_Guideline)
- [8] GOST R 21.101-2020 System of design documentation for construction. Basic requirements for design and working documentation. 40 c.
- [9] Ministry of Regional Development of the Russian Federation, Letter dated August 8, 2008 N 19512-CM/08 (as amended by Letter of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation dated 24.10.2008 N 27321-IM/18). 1 c.
- [10] GOST P 57193 - 2016 (ISO/IEC/IEEE 15288:2015). Systems and software engineering. Systems life cycle processes. - Introduced 01.11.17. 100 c.
- [11] GOST P 59194-2020. Requirements management. Basic provisions. - Introduced. 01.06.21. 29 p.
- [12] V.K. Batovrin. Model-oriented system engineering. The method of system engineering ARCADIA. Basic concepts. Educational and methodical manual, Moscow - 2021 38 c.
- [13] Resolution of the Government of the Russian Federation of 27.05.2022 № "On Amendments to the Resolution of the Government of the Russian Federation of September 15, 2020 № 1431". 4 c