

## ОПТИМИЗАЦИЯ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНО-КОММУНИКАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЧЕРЕЗ ИННОВАЦИОННОЕ КАЛЕНДАРНО-СЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

*В. В. ШЕЛЮТО, Т. В. ЯШИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Надежность транспортно-коммуникационной инфраструктуры (ТКИ) – ключевой фактор устойчивого развития экономики и безопасности государства. Надежная инфраструктура обеспечивает непрерывность транспортных и информационных потоков, снижает риски сбоев поставок, повышает качество жизнедеятельности населения.

Календарно-сетевое моделирование (КСМ) играет важную роль в обеспечении надёжности объектов ТКИ: правильно спланированный график работ позволяет оптимизировать сроки строительства и эксплуатации, а также оперативно реагировать на непредвиденные ситуации. Надежность в инженерии – способность технической системы сохранять заданные функции в течение заданного времени при определенных условиях эксплуатации. В ТКИ это охватывает параметры доступности, отказоустойчивости, ремонтпригодности и долговечности. Надежность характеризуется такими показателями, как МТБФ (среднее время наработки на отказ), коэффициент готовности и допустимый уровень отклонений от графика (schedule variance), Availability (доступность) ПО.

Инновационное КСМ включает цифровые методы планирования: интеграцию BIM (Building Information Modeling), алгоритмов искусственного интеллекта, цифровых двойников (Digital Twins), стохастических моделей. Их внедрение в проектирование и реализацию объектов ТКИ позволяет не только оптимизировать временные и ресурсные показатели, но и повысить точность исполнения и устойчивость к сбоям. Существуют следующие методологии:

- классические: CPM (Critical Path Method), PERT;
- гибкие: SCRUM, Agile Construction;
- цифровые: BIM-интеграция, 4D/5D-моделирование, AI-оптимизация расписаний.

Методы отличаются по адаптивности и уровню цифровизации (таблица 1).

*Таблица 1 – Сравнительный анализ влияния методологий КСМ на ключевые показатели надежности объектов ТКИ [1]*

Метод КСМ	Снижение ошибок планирования, %	Улучшение МТБФ, %	Рост Availability, %	Потенциал/ограничения в РБ
CPM/Gantt	5–10	2–5	3–7	Доступно; ограничено в гибкости
BIM (4D/5D)	25–35	10–20	15–25	Высокий потенциал; нехватка кадров, ПО
Agile	15–20	5–10	10–15	Требует изменения контрактов
Стохастическое КСМ	30–40	20–25	25–30	Перспективно; нет нормативной базы

Исторически КСМ в РБ развивалось от ручного графирования, MS Excel к использованию инновационных программ типа MS Project, Primavera и других программ, использующих за основу диаграмму Ганта. С 2020-х годов начата цифровая трансформация, включающая внедрение BIM, разработку соответствующих современным требованиям ТНПА и создание платформы «Госстрой-портал» [2]. Тем не менее остаются проблемы внедрения в отрасли Республики Беларусь и на международный рынок (таблица 2).

*Таблица 2 – Факторы риска для надежности объектов ТКИ: международные и белорусские аспекты [1]*

Категория риска	Общепризнанный фактор	Специфический для РБ	Эффективность, %
Кадры	Недостаток специалистов BIM	Дефицит преподавателей, отставание вузов	До 30
Нормативы	Устаревшие стандарты	Отсутствие регламентов КСМ	До 25
Финансы	Высокая стоимость ПО	Нестабильное госфинансирование	До 20
Техническая инфраструктура	Недостаточная мощность серверов	Ограниченный интернет на объектах	До 15

Инновационные подходы (особенно BIM) позволяют учитывать неопределенности, обеспечивать проактивное управление и адаптивное планирование. В РБ данный потенциал реализуется частично из-за барьеров. Необходима комплексная стратегия преодоления ограничений. На основе анализа текущей ситуации сформулированы стратегические направления внедрения инновационного КСМ в РБ. К ним относятся внедрение обязательных образовательных программ по КСМ и BIM в строительных специальностях; создание национальных стандартов и регламентов КСМ; инвестирование в цифровую инфраструктуру и ПО (серверы, лицензии); стимулирование практики 4D-планирования на госзаказах; развитие пилотных проектов цифровых двойников инфраструктуры. Каждое направление согласуется с мировыми трендами и учитывает местный контекст. Например, обязательное обучение инженеров IT-технологиям позволит преодолеть «кадровый разрыв», а современные ТНПА гарантируют совместимость использования данных и их актуализацию.

Проведенный анализ показывает, что внедрение инновационного КСМ в РБ реально повысит надёжность ТКИ, но лишь при преодолении существующих барьеров. Результаты таблиц 1–3 указывают, что BIM-интегрированные расписания и цифровые технологии снижают риски задержек и простоев. Однако *риск кадрового дефицита* может нивелировать эти преимущества: без достаточного числа обученных проектировщиков высокотехнологичные графики останутся вне досягаемости, это подтверждается и в других исследованиях.

Оценивая реалистичность стратегий, отметим, что государственные «инициативы» (стандарты BIM, порталы, планы мероприятий) стимулируют инновации, но требуют ресурсов. Прогноз повышения надёжности при их реализации условно благоприятный: при господдержке и инвестициях можно ожидать уменьшения частоты сбоев в строительстве и эксплуатации от 10 до 20 % за счет более точного планирования. Однако без полноценного финансирования и нормативного сопровождения некоторые проекты могут отклоняться от намеченных целей.

Пути реализации стратегий связаны с развертыванием образовательных и административных программ. Необходимо включить дисциплины КСМ/BIM в учебные планы университетов и колледжей; провести квалификационные курсы для действующих инженеров; принять распоряжения о постепенном введении стандартов КСМ (СН и СП, ГОСТ, ISO) и о требовании 4D-моделирования при госфинансировании; обеспечить доступ к современному ПО (через образовательные лицензии или господдержку предприятий); развивать пилотные цифровые двойники крупных инфраструктурных объектов с целью оценки практических выгод. При этом важно обеспечить достаточное финансирование, например, для создания центра компетенций и грантов для внедрения новых методик. Международный опыт показывает, что успех подобных шагов сопровождается координацией между правительством, вузами и бизнесом.

#### Список литературы

1 План цифровизации строительной отрасли Республики Беларусь на 2021–2025 гг. // Минстройархитектуры РБ. – URL: <https://www.minstroy.gov.by/> (дата обращения: 12.07.2025).

2 Стандарт недели. СТБ 2599-2021. Информационное моделирование зданий // Республиканская научно-техническая библиотека. – URL: <https://rlst.by/2023/04/26/standart-nedeli-stb-2599-2021-informatsionnoe-modelirovanie-zdaniy> (дата обращения: 12.07.2025).