

Поддержка жизненного цикла проектов дорожно-строительных работ в парадигме цифровой экономики

DOI: 10.17273/CADGIS.2019.1.2

Максимычев О.И., д.т.н., доцент, профессор кафедры АСУ МАДИ (ГТУ) (г. Москва)

Бойков В.Н., д.т.н., профессор кафедры геодезии и геоинформатики МАДГТУ (МАДИ) (г. Москва)

Современные темпы производства дорожно-строительных работ требуют совершенствования систем управления. Необходим комплексный подход по внедрению в дорожно-строительном комплексе системы автоматического управления, интегрирующей процессы взаимодействия систем управления дорожно-строительными машинами. На систему возлагаются задачи контроля за перемещением строительной машины и пространственным положением её рабочих органов, диспетчеризации транспортных операций в реальном масштабе времени. Поиск оптимальных алгоритмов и технологий, соответствующих уровню экономической оправданности применения, является основным критерием продвижения систем автоматизации в строительную индустрию.

Введение

Развитие информационных систем и автоматизации технологических процессов в сфере дорожного строительства претерпевает новый эволюционный виток на основе применения новых технологий создания цифровых двойников и промышленного интернета вещей.

Мировая практика широкого применения в строительных компаниях систем спутниковой навигации (GPS/ГЛОНАСС) в области управления и контроля за дорожно-строительной техникой и оборудованием позволила решить сложные задачи управления строительством.

Технологии объёмно-лазерного сканирования сделали возможным получать трёхмерные модели цифровой модели местности с миллиметровой точностью, что практи-



чески полностью обеспечивает все требования СНиП по точности. Информационные модели и 3D-проекты дорожных конструкций обеспечили информационную полноту проектов.

Бортовые системы автоматического управления (САУ) дорожно-строительных машин (ДСМ) в новом качестве и на основе данных 3D-моделей проектов [1] обеспечивают эффективное выполнение технологических процессов землеройно-транспортных работ, укладки дорожных одежд и т.д.

В связи с этим информационное обеспечение строительства переходит в новую парадигму — информационного моделирования и концепции сетецентричного [2] взаимодействия всех участников жизненного цикла строительства.

Информационное моделирование строительства

Исходя из имеющихся определений, информационное моделирование строительства (англ. BIM — Building Information Modeling) — это цифровое представление любого строительного объекта (включая здания, мосты, дороги и пр.), совместно используемое и являющееся надёжным источником принятия решений. Более широкая трактовка термина заключается в том, что BIM — это организационный и технологический подход к проектированию, строительству и эксплуатации объекта строительства (к управлению жизненным циклом объекта), который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей проектно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации об объекте строительства со всеми её взаимосвязями и зависимостями, когда объект строительства и всё, что имеет к нему отношение, рассматриваются как единый объект. *BIM исключает избыточность, повторный ввод и потерю данных, ошибки при их передаче и преобразовании.*

Стандартизация BIM [3, 4, 5, 6] поддерживается следующими техническими комитетами:

1. Технический комитет ISO/TC 59 — Buildings and civil engineering works (Строительство зданий), подкомитет SC13 — Organization of information about construction works (Организация информации о строительных работах).
2. Комитет ISO/TC184 — Automation systems and integration (Системы промышленной автоматизации и интеграции), подкомитет SC4 — Industrial data (Промышленные данные).

Стандарты, поддерживаемые этими комитетами, не относятся напрямую к строительству дорог, но чётко регламентируют этапы и технологии, которые позволяют осуществлять нормативную поддержку эффективной реализации всего жизненного цикла объекта строительства. Поэтому можно принять название информационное моделирование дороги (ИМД) (от RIM — Road Information Modeling) [7].

Толчком к переходу в новое качество стали известные проблемы, связанные с дорожным строительством и носящие комплексный характер, решение которых лежит в том числе в областях информационно-технического контроля и управления. Так, например, госкомпания «Автодор» определила вызовы, которые стали основополагающими для решения задач по оптимизации системы поддержания комплекса жизненного цикла (КЖЦ) дорог:

1. Возрастающая сложность проектов.
2. Возрастающая цена ошибки проектировщиков.
3. Снижение рентабельности инфраструктурных проектов.
4. Сокращение сроков подготовки и реализации проектов.
5. Экономика КЖЦ (приведённые затраты).

Вариант структуры КЖЦ дорог показан на рисунке 1.



Рис. 1. Вариант структуры комплекса жизненного цикла дорог

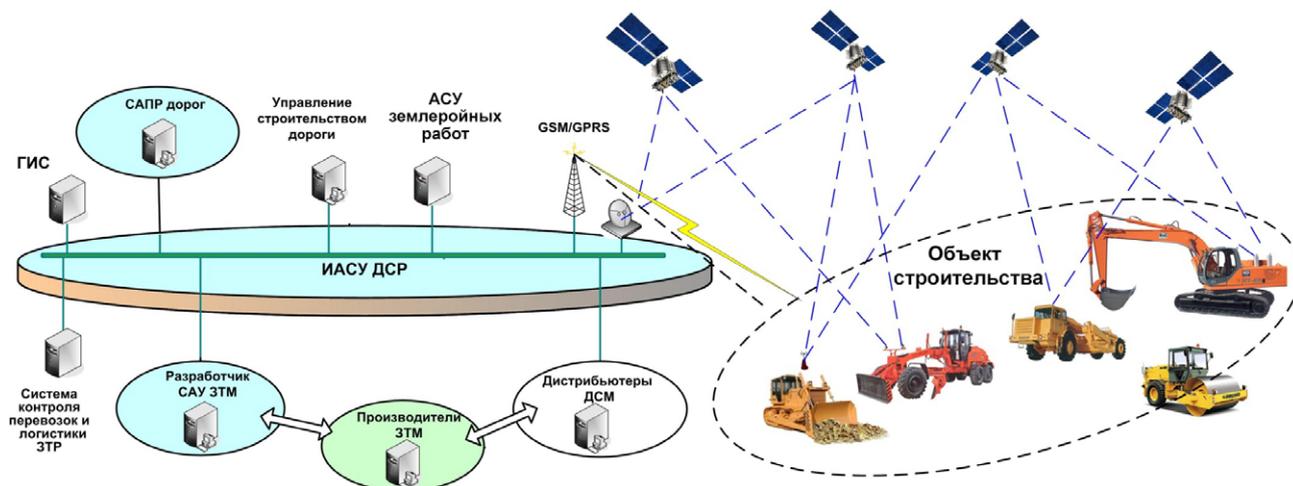


Рис. 2. Функциональная схема комплекса ИАСУ ДСР

Всё это, в свою очередь, инициировало начало разработки «Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства» [3], который закладывает основу комплексной системы автоматизации управления строительством. Целью плана является повышение качества проектной документации и сокращение сроков строительства (реконструкции, ремонта) дорог, повышение эффективности капитальных вложений на всех стадиях жизненного цикла дорог и внедрение в инженерные и управленческие процессы парадигмы информационного моделирования дорог.

Задачи плана внедрения технологий ИМД:

1. Разработать основы нормативной, организационной и технологической поддержки информационного моделирования дорог в процессе их жизненного цикла.
2. Разработать стандарты по форматам данных, моделям и процессам для их реализации при проектировании, строительстве (реконструкции, ремонте) и эксплуатации автомобильных дорог, включая выполнение работ по кадастру земель, инвентаризации, техническому учёту и диагностике дорог.
3. Сформировать условия для интегрированного управления процессами информационного моделирования дорог, опираясь на достижения информационно-телекоммуникационных техноло-

гий и глобальной навигационной спутниковой системы позиционирования (ГЛОНАСС).

Базовыми компонентами информационного моделирования дорог в жизненном цикле или цикле DBO (Design — Проектируй, Building — Строй, Operate — Эксплуатируй) являются:

1. САД (САПР) — система автоматизированного проектирования (3D).
2. ГИС (ГИС) — геоинформационная система (3D).
3. ИСУП (ИСУП) — информационная система управления проектами (3D + время = 4D).
4. АССР — автоматизированная система сметных расчётов (3D + время + ресурсы = 5D).
5. ИАСУ ДСР — интегрированная автоматизированная система управления дорожно-строительными работами.
6. ИТС (ИТС) — интеллектуальная транспортная система.

Состав представляет ряд компонентов, входящих в обеспечение ИМД, которые могут быть охарактеризованы качественными показателями:

1. Полнота данных:
 - полнота данных BIM-модели: достаточна для принятия всех управленческих и технических решений;
 - данные имеют документальный статус и являются первичным источником для принятия решений;
 - BIM — это не модель данных, а модель знаний.

2. Должностные обязанности:

- все должностные обязанности в рамках всех этапов жизненного цикла полностью поддерживаются, причём в рамках одной программной системы на одном рабочем месте;
- все контрактные обязанности внешних исполнителей могут быть полностью исполнены только на основе BIM-системы.

3. Управление изменениями:

- в организации внедрён процесс анализа бизнес-процессов и метод анализа корневых причин, а реакция на проблемы не превышает 48 часов.

4. Бизнес-процесс:

- все бизнес-процессы собирают и немедленно (real-time) актуализируют информацию для BIM (большой акцент на датчики объективной информации и документооборот в полевых условиях);
- инфраструктура дорожных данных: нет дублирования при вводе данных (синхронизация всех технических и обеспечивающих процессов: сметного и табельного учёта и т.д.).

5. Время выполнения запросов:

- вся информация организации находится в BIM, непрерывно обновляется на основе данных от датчиков и операторов;
- ответы на запросы поступают немедленно, доступны, точны и имеют юридическую значимость.

Таким образом, внедрение в будущем ИМД позволит на основе пере-

численных условий получить высокоэффективную систему управления строительством.

ИАСУ ДСР

Важным компонентом ИМД и звеном жизненного цикла является интегрированная автоматизированная система управления дорожным строительством (рис. 2). Следует отметить свойство динамического синтеза проекта ИАСУ ДСР [1] на основе уже действующего комплекса обеспечения ИМД. Этот комплекс в настоящее время имеет все признаки развивающегося проекта системы [3], целью которого является повышение производительности и качества дорожно-строительных работ путём автоматизации технологических процессов, выполняемых строительными машинами в составе информационно-управляющей системы жизненного цикла дорог. Функциональная структура модели автоматизированной системы синтезируется исходя из параметров объекта строительства, которая и формирует основные технологические возможности проекта ИАСУ ДСР. Перечислим их.

1. Работа в единой информационной среде проектировщиков, геодезистов, инженеров-технологов и операторов всего парка строительных машин, оснащённых бортовыми системами управления.
2. Автоматический контроль над выполнением плана работ и качеством выполненных технологических операций.
3. Наличие подсистемы экспертного анализа, контролирующей и предлагающей оптимальное решение строителям из складывающейся технологической ситуации на основе заложенных правил и ограничений (СНиП, ГОСТ, проект, план-график работ, имеющиеся материальные и другие ресурсы).
4. Устранение человеческого фактора в ограниченных условиях принятия решений.

Бортовые САУ ДСМ

Бортовые системы автоматического управления дорожно-строительными машинами, а точнее технологическими процессами строительства, выполняемыми с применением этих машин, обеспечивают интеграцию в информационно-управляющее пространство ИАСУ ДСР [8]. Развитие средств и методов автоматизации технологических процессов является проектом подсистемы комплекса ИАСУ ДСР, непосредственно влияющим на качество и эффективность строительства.

Пример технологии САУ

Система сетевидного управления Connected Site, разработанная компанией Trimble (США), включает три составляющие: «Подключённый офис» (Connected Office), «Подключённый контроллер» (Connected

Controller) и «Подключённая машина» (Connected Machine). Здесь можно говорить о сетевом, связанном взаимодействии подсистем ИАСУ ДСР.

Ставшая стандартной во всех САУ технология «Подключённая машина» выполняет функции мониторинга и управления землеройно-транспортными машинами (ЗТМ) (рис. 3). Машины могут собирать на локальном уровне данные об исполнительской съёмке для передачи в офис строительства и получать поправки по сети. Данные 3D-проекта, созданного в проектно-бюро, можно передавать оператору машины в целях более быстрого и точного проведения земляных работ. Техническую поддержку по выполнению земляных работ можно осуществлять удаленно, не покидая штаб строительства. Кроме того, ЗТМ используются для измерений объёма выработки, чтобы реже производить дорогостоящие измерения с помощью геодезистов. Время на переезды и переделки также сводится к минимуму, поскольку и офис строительства, и находящиеся на участке машины всегда могут предоставить данные с актуальной информацией в единой информационной среде проектирования и управления.

Эксплуатация САУ

В части эксплуатации САУ важное значение приобретают системы автоматизированного проектирования алгоритмов управления технологическими операциями машин, реализующие цикл «Оператор — контроллер — САУ-машина» (рис. 4). Общие принципы взаимодействия управляющих подсистем можно представить в виде структуры, в которой промежуточным звеном коррекции является вычислительная система, а оператор осуществляет только супервизорное управление. В указанном рабочем цикле производится поиск и оптимизация алгоритмов регулирования. В ИМД может быть применена методика анализа систем нижних уровней, формализация действий управления оператора

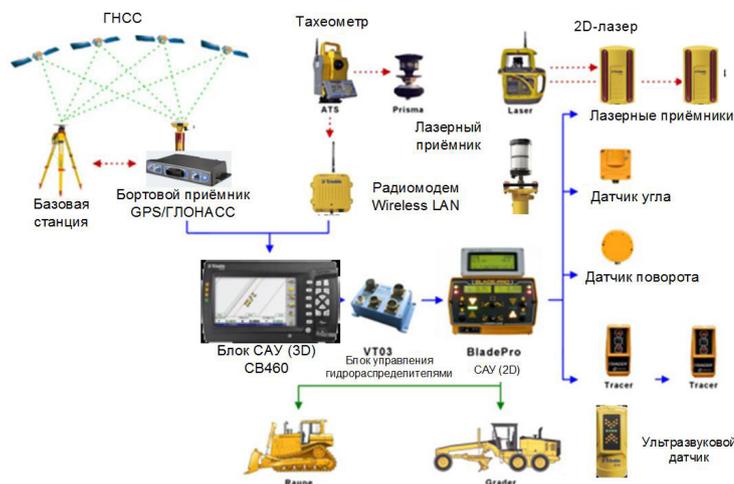


Рис. 3. Состав комплекса технических средств для САУ ЗТМ (Trimble)

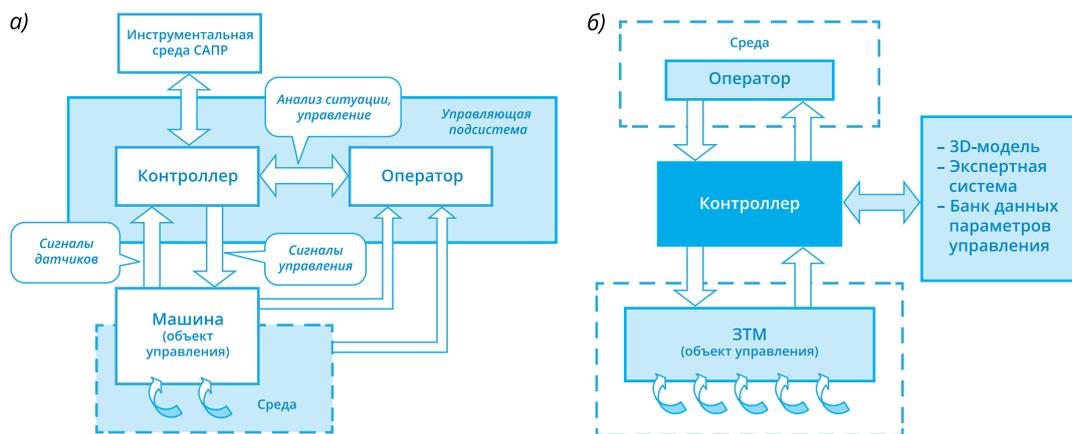


Рис. 4. а) САПР «Оператор — контроллер — машина»; б) структура САУ ЗМ в системе ИМД

по оптимальному управлению. Обеспечением в этом случае являются действующие проекты моделей управления дорожно-строительных машин и их исполнительных механизмов. Моделирование технологических операций обеспечивает достоверность данных в соответствии с методикой ИМД и нормативными требованиями к применённой САУ в проекте 3D. В результате реализуется возможность накапливать информацию о процессах управления в виде баз знаний.

Программирование и настройка параметров САУ становится важным этапом выполнения проекта в системе 4D.

Возможность внесения изменений в конфигурацию информационной подсистемы САУ ДСМ обеспечит выполнение проекта контроля производимых технологических операций и проекта 4D.

Условия реализации проекта

Формирование единого информационного пространства дорожного строительства на основе системы информационной поддержки жизненного цикла объектов транспортного комплекса требует выполнения следующих условий.

1. Организация кооперационного взаимодействия-альянса между подрядными организациями строительного комплекса, разработчиками систем автоматизированного управления, средств обеспечения САУ и производителей дорожно-строительных машин.
2. Разработка и поддержание пилотного проекта синтеза АСУ (информационно-управляющей системы) дорожного строительства как части программы цифровизации отрасли в парадигме ИМД.
3. Обеспечение полигонной отработки (мониторинга) подсистем и системы управления ДСР в целом на всём протяжении её жизненного цикла.
4. Формирование современной нормативной базы национального стандарта для обеспе-

чения применения средств навигации и автоматизации в дорожном строительстве.

Задачи поддержки жизненного цикла ИАСУ ДСР в парадигме информационного моделирования строительства дорог

1. Методическая поддержка отраслевых нормативных рекомендаций, регламентирующих применение комплекса средств автоматизации и информационных технологий в строительстве.
2. Информационное моделирование процессов управления, хранения и обработки данных в ИАСУ ДСР. Разработка алгоритмов АСУ ТП и САУ.
3. Разработка методик и средств обеспечения достоверности получаемых данных от информационных систем и САУ ДСМ.
4. Разработка методик расширения и модернизации ИАСУ ДСР.
5. Экспертно-методическое сопровождение программных средств обеспечения, входящих в ИАСУ ДСР и ИМД.
6. Разработка и поддержка баз данных и экспертных систем ИМД.

Ожидаемые результаты от применения ИАСУ ДСР

- Повышение эффективности капитальных вложений, качественное изменение методов контроля строительства, обеспечение возможностей по гибкому управлению материально-финансовыми ресурсами в рамках выполняемых проектов на основе частного-государственного партнёрства.
- Получение эффективной, масштабируемой информационной системы управления дорожно-строительными работами.
- Повышение точности и сокращение сроков выполнения линейных строительных работ.
- Сокращение расхода строительных материалов, снижение приведённых затрат.

- Повышение производительности труда операторов машин за счёт применения бортовых комплексов объективного контроля технологических процессов.
- Автоматизированный контроль строительных работ в реальном масштабе времени.
- Автоматическое документирование выполненных этапов проектов.
- Персонификация выполненных работ на объекте.
- Соблюдение норм техники безопасности труда операторов машин.
- Соблюдение экологических норм и ограничений при ведении строительных работ.

Формирование единого информационного пространства (ЕИП) дорожного строительства

Исходя из преимуществ, получаемых от применения ИАСУ ДСР, следует выделить основные факторы, позволяющие говорить о формировании структуры единого информационного пространства дорожного строительства, которая включает в себя следующие этапы взаимодействия.

1. Структура системы внедрения ИАСУ ДСР в системе ЕИП

- а) Тендер на строительство или ремонт дороги или участка.
- б) Организация консорциума для участия в тендере:
 - Проектная организация. Подготовка цифровых моделей местности и проектирование объектов строительства.
 - Строительная организация.
- в) Оперативное управление строительством. Система автоматизированного управления технологическими процессами строительства дорог (АСУ ТП) 4D.
- г) Закупка оборудования автоматизации. Аппаратно-программный комплекс (АПК) автоматизированного управления строительной машиной.
- д) Разработка и производство АПК. Обеспечение качества выполняемых технологических процессов.
- е) Определение производителей (поставщиков) дорожно-строи-

тельной техники. Обеспечение интеграции АПК в строительные машины и обеспечение надёжности эксплуатации.

- г) Разработка структуры сервисного обеспечения оборудования автоматизации и навигации.
- д) Обучение персонала всех уровней управления.

2. Условия проведения строительных работ

- а) Наличие в строительной организации департамента автоматизации технологических процессов и управления (регламентированная структура оператора обеспечения и мониторинга строительства).
- б) Реализация проекта строительства в ЦММ для навигации строительных машин и оборудования.
- в) Наличие АСУТП (4D) и парка машин, оборудованных автоматикой управления и навигационными системами позиционирования.
- г) Наличие методики и расчётной базы для эксплуатации ДСМ с САУ 4D.

3. Ожидаемые результаты

- а) Прозрачная система контроля финансовых и материальных ресурсов.
- б) Сокращение сроков согласования и экспертных оценок проекта.
- в) Контроль качества и объёмов выполненных работ.
- г) Оптимизация затрат на выполнение транспортных и строительных операций.
- д) Сокращение сроков строительства.
- е) Извлечение дополнительных ресурсов (резервов). Оперативное привлечение подрядных организаций и индивидуальных предпринимателей для формирования комплектов машин.

4. Приобретаемые факторы

- а) Рост рынка услуг в области обеспечения строительства.
- б) Улучшение безопасности и условий труда при проведении земляных и других строительных работ.
- в) Повышение экологической безопасности.
- г) Системная разработка и проектирование проектов автоматизации

и новых технологий управления в дорожном строительстве.

Заключение

Возрастающие требования к строительным работам и развитие технологий информационно-управляющих систем определяют необходимость использования новых подходов и модернизации всей парадигмы поддержки жизненного цикла дорог. Применение «островных», локальных технологий, не связанных в единое информационное пространство в реальном масштабе времени, не позволит полностью использовать все технологические возможности цифровой экономики. Только применение системы обеспечения жизненного цикла может обеспечить успешное и поступательное развитие практики дорожного строительства. ■

Литература:

1. Райкова Л.С., Петренко Д.А. Строительство автомобильных дорог на основе 3D-моделей // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 81–85. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.13
2. Васильевский А.М., Максимычев О.И. Новые направления в автоматизации технологий дорожного строительства // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2012. № 3. С. 53–57.
3. Скворцов А.В. Обзор международной нормативной базы в сфере BIM // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 2(7). С. 4–48. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.2.1
4. Скворцов А.В. Модели данных BIM для инфраструктуры // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 16–23. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.2
5. Скворцов А.В. BIM автомобильных дорог: оценка зрелости технологии // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 12–21. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.3
6. Скворцов А.В. Нормативно-техническое обеспечение BIM автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 22–32. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.4
7. Бойков В.Н. IT-технологии в поддержке жизненного цикла дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 1(2). С. 1,6–7. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.1.1
8. Комплексная система автоматизированного управления дорожно-строительными работами / В.А. Воробьев [и др.]. М: МАДИ, 2017. 324 с.