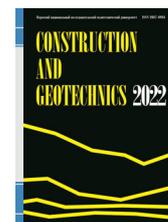




CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 13, № 2, 2022

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2022.2.05

УДК 658.512.6

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

С.И. Пименов

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 21 декабря 2021

Одобрена: 22 марта 2022

Принята к публикации:

30 июня 2022

Ключевые слова:

многоуровневая система планирования, синхронизация, строительный проект, цифровизация, цифровая трансформация.

АННОТАЦИЯ

При классическом подходе к календарно-сетевому планированию затруднительно разработать полный и корректный график работ на реализацию проекта, предусмотреть нужную детализацию и технологические связи и зависимости между работами. Получающиеся графики трудно управляемы и не пригодны для оперативного и качественного анализа. Соответственно, на их основании становится невозможным принятие адекватных управленческих решений.

В работе изучено и представлено текущее состояние, перспективы многоуровневой системы планирования строительных проектов в условиях цифровизации и цифровой трансформации.

Установлено, что для эффективного планирования и управления строительными проектами необходимо оперативно получать информацию о фактическом состоянии дел на всех уровнях планирования и управления. Отдельные программные решения, автоматизирующие ту или иную функциональную сферу или бизнес-процесс, уже не удовлетворяют потребностям как крупных корпораций, так и среднего бизнеса. Это объясняется в том числе отсутствием синхронизации деятельности между участниками проекта. Данную проблему возможно решить разработкой и использованием единой цифровой платформы, обеспечивающей сквозное многоуровневое планирование.

Выявлено, что с учетом основных принципов планирования сквозная система планирования в строительстве имеет исключительно преимущества и перспективы в применении как для строительных, так и для других бизнес-проектов.

Ввиду существенных отличий по масштабу и сложности проектов, организаций, участвующих в проекте, и других факторов, скорее всего не будет единого решения (в формате электронной платформы), позволяющего реализовать сквозную многоуровневую систему планирования, которая бы удовлетворяла всем потребностям участников строительного проекта. Для простых проектов будет достаточно использовать три уровня планирования, для более сложных – четыре и более уровней.

© ПНИПУ

© Пименов Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: sergeypimenov12@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-2636-2822

Sergey I. Pimenov – Ph. D. in Technical Science, Associate Professor, e-mail: sergeypimenov12@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-2636-2822

THE STATE AND PROSPECTS OF A MULTI-LEVEL PLANNING SYSTEM FOR CONSTRUCTION PROJECTS IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION

S.I. Pimenov

Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 21 December 2021
Approved: 22 March 2022
Accepted for publication:
30 June 2022

Keywords:

multilevel planning system, synchronization, construction project, digitalization, digital transformation.

ABSTRACT

With the classical approach to calendar-network planning, it is difficult to develop a complete and correct work schedule for the implementation of the project, to provide the necessary detail and technological connections and dependencies between works. The resulting graphs are difficult to manage and are not suitable for operational and qualitative analysis. Accordingly, on their basis, it becomes impossible to make adequate management decisions.

In the article studies and presents the current state, prospects for a multi-level planning system for construction projects in the context of digitalization and digital transformation.

It has been established that for effective planning and management of construction projects, it is necessary to quickly obtain information about the actual state of affairs at all levels of planning and management. Separate software solutions that automate a particular functional area or business process no longer meet the needs of both large corporations and medium-sized businesses. This is due, among other things, to the lack of synchronization of activities between project participants. This problem can be solved by developing and using a single digital platform that provides end-to-end multi-level planning.

It was revealed that, taking into account the basic principles of planning, the end-to-end planning system in construction has exceptional advantages and prospects for use, both for construction projects and other business projects.

Due to significant differences in the scale and complexity of projects, organizations participating in the project, and other factors, most likely there will be no single solution (electronic platform) that allows the implementation of an end-to-end multi-level planning system that would satisfy all the needs of construction project participants. For simple projects, it will be enough to use 3 levels of planning, for more complex projects, from 4 or more levels.

© PNRPU

Введение

Современные цифровые технологии все чаще находят применение в деятельности всех участников строительных проектов: застройщиков, технических заказчиков, организаций, осуществляющих инженерные изыскания, архитектурно-строительное проектирование, экспертизу проектной документации и результатов инженерных изысканий, производителей строительных материалов и оборудования, органов государственной власти и местного самоуправления, подведомственных им организаций и др. (см. [1–4]). В.И. Травуш считает, что за счет применения цифровых технологий строительная отрасль достигнет инновационного развития, позволит участникам строительного проекта стать единой командой и добиться успехов в реализации сложных строительных проектов [1].

Стремительным преобразованиям, основанным на применении цифровых технологий, подвергаются практически все бизнес-процессы. Большую популярность уже получили технологии информационного моделирования (ТИМ), Building Information Modeling, технологии дополненной реальности, интернет вещей, аддитивные технологии и многие другие технологии, облегчающие людям принятие решений (см. [5–12]).

Концепцией ТИМ, предусматривающей применение цифровых технологий, на каждом уровне зрелости должно являться повышение эффективности строительной отрасли на основе совокупного и скоординированного их применения, обеспечения их взаимосвязанного использования как единой системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства [1; 5; 8; 13; 14].

Применение ТИМ будет успешным при совершенствовании сложившихся практик создания, хранения и предоставления информации, необходимой участникам строительного проекта на всех стадиях жизненного цикла объекта капитального строительства [5; 8; 14]. При этом необходимо, чтобы сбор данных предусматривал глубокое их структурирование на всех стадиях жизненного цикла объекта капитального строительства.

Для реализации поставленных целей необходимо принять ряд решений:

- максимально широко применять участниками строительного проекта инструменты информационных технологий;
- обеспечить взаимодействие участников строительных проектов исключительно через электронную форму на всех стадиях жизненного цикла объекта капитального строительства;
- создать эффективную систему (платформу) сбора в режиме реального времени достоверных сведений на всех стадиях жизненного цикла объектов капитального строительства, их преобразования в обобщенные данные, хранения для множественного использования участниками строительного проекта (см. [5; 8; 15–17]).

Стадии жизненного цикла объекта капитального строительства можно представить в следующем виде (рис. 1).



Рис. 1. Стадии жизненного цикла объекта капитального строительства
Fig. 1. Stages of the life cycle of the capital construction object

Рассматривая детальнее жизненный цикл объекта капитального строительства, можно включить в каждую из стадий жизненного цикла еще ряд этапов, работ. Например, в стадию «Концепция» входят сбор исходных данных, эскизное проектирование, архитектурная концепция, комплексная концепция бизнес-модели проекта и др.; в «Проект» – отдельные этапы разработки проектной и рабочей документации; «Экспертиза» – проводится в несколько этапов в связи с внесением изменений в проект; «Строительство» – этапы подготовительных работ, основной этап строительства, сдача объекта в эксплуатацию; «Эксплуатация» – регистрация и передача прав на законченный строительством объект, постинвестиционное сопровождение и др.

Вместе с тем все стадии жизненного цикла объекта капитального строительства в обычной последовательности представлять не совсем корректно (см. рис. 1), поскольку на практике отдельные этапы, находящиеся на разных стадиях жизненного цикла, могут осуществляться параллельно, например, разработка рабочей документации, экспертиза и подготовительные работы строительства и др.

Эффективное планирование и управление строительными проектами на всех стадиях жизненного цикла и разных уровнях представляет собой достаточно сложную задачу

(см. [13; 16–19]). Реализация строительных проектов требует управления различными параметрами, в том числе временными. В данной работе рассматривается планирование временное при реализации строительного проекта.

Состояние многоуровневой системы планирования строительных проектов

На стадии строительства объектов, особенно сложных, проводятся десятки и даже сотни тысяч отдельных строительных или монтажных операций, работ, связанных с закупкой и поставкой оборудования и материалов, составлением проектной документации. При классическом подходе к календарно-сетевому планированию затруднительно разработать полный и корректный график работ на реализацию проекта, предусмотреть нужную детализацию и технологические связи и зависимости между работами. Получающиеся графики трудно управляемы и непригодны для оперативного и качественного анализа. Соответственно, на их основании становится невозможным принятие адекватных управленческих решений [19; 20].

Одна из важных задач управления проектом – получать достоверные и взаимосвязанные данные о текущем планировании, ходе реализации и отклонении сроков проекта, обеспечивая целостность и непрерывность системы управления сроками [21–23].

При строительстве комплексов объектов или технически сложного объекта важным вопросом является создание единой системы планирования и управления строительством, позволяющей увязать задачи и интересы всех без исключения участников процесса.

Руководитель проекта, контролируя реализацию строительного проекта, должен уведомлять заинтересованных участников проекта обо всех изменениях календарного плана и о возможных рисках. Руководитель проекта выступает в роли управляющего, различными способами убеждая окружающих в том, что организация, выполняющая проект, исполняет свои функции оптимальным образом и достигнет поставленной цели.

Для каждого проекта с учётом его классификации и специфики должны быть заданы вид и число уровней планирования, их содержательные и временные взаимосвязи. Система планов реализации проекта должна отвечать всем принципам планирования и обеспечивать возможность сравнения фактических и плановых данных, а также в случае необходимости корректировки параметров выполнения проекта.

Дело в том, что в зависимости от стадии жизненного цикла и уровня детализации в строительных проектах разрабатываются следующие виды планов (временных):

- план реализации всего бизнес-проекта, начиная от концепции до ввода объектов в эксплуатацию;
- укрупненные графики строительства комплексов зданий и сооружений, могут быть в составе проекта организации строительства проектной документации;
- календарно-сетевые графики строительства отдельных объектов в составе проекта производства работ организационно-технологической документации;
- недельно-суточные графики отдельных строительных процессов в составе технологических карт;
- часовые графики при разработке карт трудовых процессов.

Полученную многоуровневую схему планирования можно упрощенно представить в следующем виде (рис. 2).

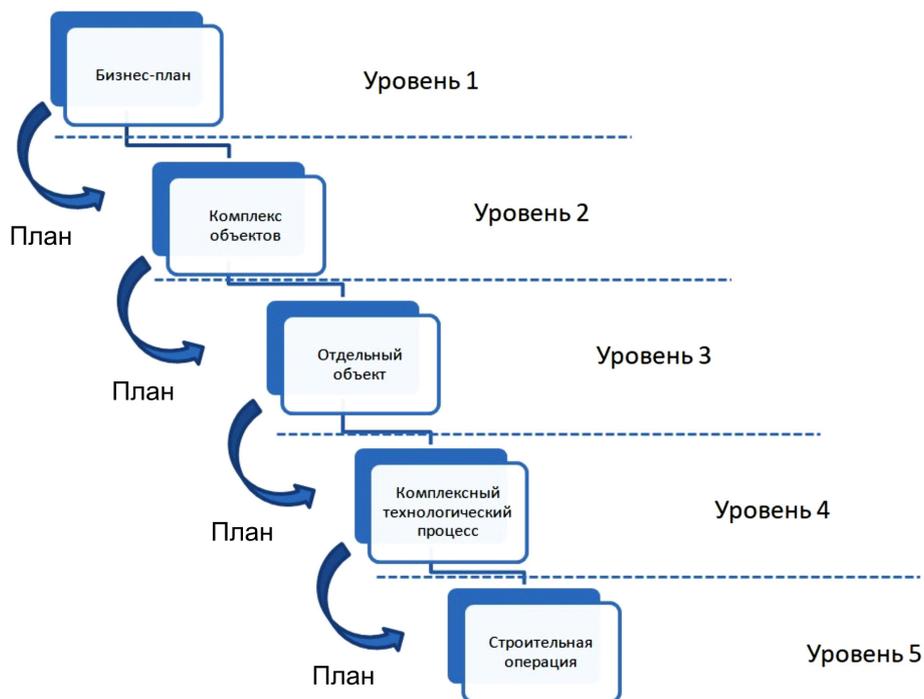


Рис. 2. Традиционная схема планирования и управления в строительстве
Fig. 2. The traditional scheme of planning and management in construction

Планирование этих графиков осуществляется разными участниками строительного проекта, с учетом их возможностей и целей. Так, например, план реализации всего бизнес-проекта разрабатывается техническим заказчиком (управляющей компанией), укрупненные графики строительства комплексов зданий и сооружений могут разрабатываться как техническим заказчиком, так и проектной организацией, остальные графики – генподрядной и субподрядными организациями.

В этом случае при планировании и управлении строительными проектами существует ряд проблем:

- участники проекта в зависимости от необходимой детализации и сложности планов используют разные виды программного обеспечения (Excel, Spider Project, Microsoft Project, Oracle Primavera P6, PowerProject и др.), в том числе с 4D-моделированием (Bexel Manager, Synchro 4D Pro, Asta Powerproject BIM и др.) [24];

- на стадии проекта и строительства графики по всем видам деятельности у участников проекта становятся разрозненными, что усложняет процесс управления рисками и планированием всего проекта;

- необходимо в ручном режиме устанавливать зависимости между соответствующими работами графиков разных уровней;

- при корректировке сроков работ одного из графиков проекта сроки работ-последователей (уровней) необходимо корректировать в ручном режиме, что делает данный процесс достаточно трудозатратным при наличии тысяч и тем более десятков и сотен тысяч работ [23; 24].

Отдельные программные решения, автоматизирующие ту или иную функциональную сферу или бизнес-процесс, уже не удовлетворяют потребностям как крупных корпораций, так и среднего бизнеса. Это объясняется в том числе отсутствием синхронизации деятельности между участниками проекта.

Таким образом, с целью повышения эффективности управления строительными проектами имеется потребность в применении информационных технологий сквозного многоуровневого планировании и управлении стадиями, этапами, комплексами задач, отдельными процессами, входящими в планирование реализации строительного проекта. Решение проблемы находится в разработке и применении единой электронной платформы, синхронизирующей все уровни планирования через перечень контрольных точек (вех) и позволяющей различным участникам инвестиционного строительного проекта (ИСП) работать в режиме «одного окна». Данное решение в целом соответствует задачам, которые решаются в ходе цифровой трансформации. Применение данной платформы позволит перевести бизнес-процессы, в том числе планирование, с этапа цифровизации в цифровую трансформацию (рис. 3).



Рис. 3. Этапы цифровизации процессов [24; 25]
Fig. 3. Stages of digitalization of processes [24; 25]

Материалы и методы

Рассматриваемая в данной работе многоуровневая система планирования на разных этапах цифровизации может оцениваться с точки зрения классических принципов планирования: единства, непрерывности, гибкости, точности.

Перспективы многоуровневой системы планирования строительных проектов

Результаты автоматизации и цифровизации в виде внутренних автоматизированных и прошедших реинжиниринг процессов, внедренных автоматизированных систем и надежных данных во многих случаях служат основой для цифровой трансформации [26]. Внутреннее устройство трансформации обусловлено как количеством участников, так и масштабом и сложностью изменений.

Если имеется единая платформа планирования проектами и совместной работой, все обсуждения, документы, комментарии и текущее состояние будут собраны в единой платформе, например «облаке». Открыть их сможет каждый, кому предоставлен доступ, и в любое время. Участники строительного проекта могут быстро проверить статус, при-

ступить к работе и решить, что нужно делать дальше, не собирая совещание и не тратя времени на поиск нужной информации. Таким образом, данная система уже представляет собой сквозную многоуровневую систему планирования (рис. 4).

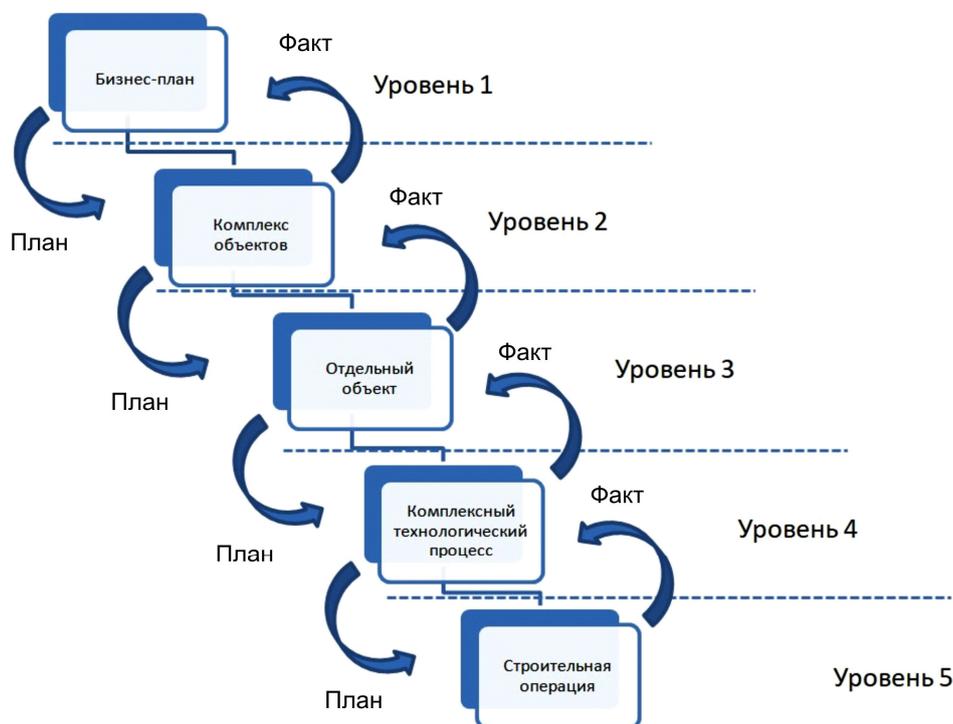


Рис. 4. Схема сквозного планирования и управления в строительстве
Fig. 4. Scheme of end-to-end planning and management in construction

Полный цикл планирования и управления строительными проектами подразумевает планирование (план) «сверху вниз», учет фактических результатов (факт) «снизу вверх», их сравнение (анализ план/факт отклонений) и затем принятие управленческих решений (коррекция). Этот цикл «план – выполнение – проверка – коррекция» известен как цикл PDCA Деминга (Plan – Do – Check – Action). Без оперативного сбора данных «снизу вверх» и сравнения плана и факта эффективное планирование и управление невозможно.

В этой связи, с точки зрения оценки основных принципов планирования, сквозная система планирования в строительстве имеет исключительно преимущества и перспективы в применении как для строительных проектов, так и других бизнес-проектов.

Необходимо отметить положительный опыт разработки и применения в России уже разработанных подобных решений – информационных платформ, позволяющих производить объединение и синхронизацию графиков разных уровней. В 2020 г. на рынке появилось два подобных решения: Plan-R (ООО «Цифровые практики») и «Мульти-Д Объединенный график» (инжиниринговая компания «АСЭ» корпорации «Росатом») [27; 28]. Plan-R является web-платформой, «Мульти-Д Объединенный график» – программное обеспечение. Оба продукта являются отечественными, что представляет особую ценность в импотозамещении в условиях международных санкций.

Применение продуктов Plan-R и «Мульти-Д Объединенный график», уже позволило повысить эффективность планирования и управления рядом проектов, существенно снизить риски срыва целевых сроков реализации.

Вместе с тем, ввиду существенных отличий по масштабу и сложности проектов, организаций, участвующих в проекте, и других факторов, скорее всего не будет единого решения (электронной платформы), которое бы удовлетворяло всем потребностям участников строительного проекта [29]. Руководителям проектов потребуется либо подстраиваться под имеющиеся цифровые технологии, либо по их заказу ИТ-компании смогут разработать новые решения.

Выводы

1. Эффективное планирование и управление строительными проектами на всех стадиях жизненного цикла и разных уровнях представляет собой достаточно сложную задачу. Реализация строительных проектов требует управления различными параметрами, в том числе временными.

2. Отдельные программные решения, автоматизирующие ту или иную функциональную сферу или бизнес-процесс, уже не удовлетворяют потребностям как крупных корпораций, так и среднего бизнеса. Это объясняется в том числе отсутствием синхронизации деятельности между участниками проекта.

3. С целью повышения эффективности управления строительными проектами имеется потребность в применении информационных технологий сквозного многоуровневого планирования и управлении.

Ввиду существенных отличий по масштабу и сложности проектов, организаций, участвующих в проекте, и других факторов, скорее всего не будет единого решения (в формате электронной платформы), позволяющего реализовать сквозную многоуровневую систему планирования, которое бы удовлетворяло всем потребностям участников строительного проекта. Для простых проектов будет достаточно использовать три уровня планирования, для более сложных – четыре и более уровней.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

1. Травуш В.И. Цифровые технологии в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. – 2018. – № 3. – С. 107–117. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117
2. Цифровизация в строительстве, как эффективный инструмент современного развития отрасли / В.Т. Ерофеев, А.А. Пиксайкина, А.Г. Булгаков, В.В. Ермолаев // Эксперт: теория и практика. – 2021. – № 3 (12). – С. 9–14.
3. Чекалкин А.А., Макарова Е.Ю. Повышение квалификации профессорско-преподавательского персонала политехнического университета по направлению «техника и технологии строительства» // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2018. – № 1. – С. 122–136. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.12
4. Шевченко-Савлакова Н.М., Сычёва Ю.С. Цифровизация строительства: новые навыки специалистов строительной отрасли // Профессиональное образование. – 2021. – № 3 (45). – С. 3–8.
5. Дмитриев А.Н., Владимиров И.Л. Технологии информационного моделирования в управлении строительными проектами России // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 10. – С. 48–59.

6. Талапов В.В. О некоторых принципах, лежащих в основе BIM // Известия вузов. Строительство. – 2016. – № 4. – С. 108–114.
7. Дмитриев А.Н., Цыганкова А.А., Папикян Л.М. Технологии BIM и их место в управлении проектами внедрения строительных инноваций // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: сб. материалов VIII Междунар. науч.-практ. конф. (11–15 апреля 2018 г., Москва). – М.: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2018. – С. 186–195.
8. Гинзбург А.В. Информационная модель жизненного цикла строительного объекта // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 9. – С. 61–65.
9. Мухаметрахимов Р.Х., Вахитов И.М. Аддитивная технология возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 4 (42). – С. 350–359.
10. Mukhametrakhimov R.Kh., Lukmanova L.V. Structure and properties of mortar printed on a 3D printer // Magazine of Civil Engineering. – 2021. – No. 2 (102). – P. 10206.
11. Пименов С.И. Повышение безопасности и эффективности технологического процесса в строительстве путем его автоматизации // Безопасность жизнедеятельности. – 2019. – № 5 (221). – С. 16–19.
12. Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Калошина С.В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, no 1. – С. 90–101. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.08
13. Совершенствование организации проектных работ путем внедрения технологий информационного моделирования зданий / В.П. Грахов, С.А. Мохначев, П.Е. Манохин, А.Х. Иштряков // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 615.
14. Алексанин А.В., Жаров Я.В. Потенциал использования цифровых информационных моделей в рамках управления строительством // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 1. – С. 52–55. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.01.52-55
15. Гинзбург А.В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта // Информационные ресурсы России. – 2016. – № 5 (153). – С. 28–31.
16. Сунцов А.С., Симченко О.Л., Толкачев Ю.А., Чазов Е.Л., Самигуллина Д.Р. Анализ зрелости BIM-решений как инструмента обеспечения жизненного цикла здания // Construction and Geotechnics. – 2020. – Т. 11, no 3. – С. 41–53. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.3.04
17. Бачурина С.С., Султанова И.П. Концепция создания экономико-визуальной модели – инструмента повышения эффективности инвестиционно-строительных проектов // Градостроительство. – 2015. – № 1 (35). – С. 11–14.
18. Дмитриев А.Н. Развитие цифровых методов оценки инноваций инвестиционно-строительных проектов для повышения их энергоэффективности // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 7. – С. 13–20.
19. Бовтеев С.В., Животягин Д.А. Развитие методов планирования и контроля рисков в строительстве // Организация строительного производства: материалы II Всерос. науч. конф. (Санкт-Петербург, 4–5 февраля 2020 г.). – СПб.: СПбГАСУ, 2020. – С. 128–136.
20. Сборщиков С.Б., Лейбман Д.М. Интегральный контроль реализации проектов строительства технически сложных и уникальных объектов // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 7. – С. 13–20.

21. Юдина А.Ф., Григорьев С.Ю., Величкин В.З. Использование BIM-технологий для контроля качества проектов строительной инфраструктуры // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 2 (79). – С. 132–137.
22. Бовтеев С.В., Надим К.Р. Хурейни. Классификации и параметры рисков строительных проектов // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 6 (89). – С. 79–86.
23. Бовтеев С.В., Мишакова А.В. Возможности применения метода оценки и анализа программ для контроля сроков строительного проекта // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 4 (81). – С. 115–121.
24. Бовтеев С.В. Практика применения 4D-моделирования в строительстве // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. А.А. Семенова. – СПб., 2021. – С. 77–84.
25. Государство как платформа: люди и технологии / под ред. М.С. Шклярук. – М.: РАНХиГС, 2019. – URL: <https://www.ranepa.ru/images/News/2019-01/16-01-2019-Gov-Platform.pdf> (дата обращения: 11.03.2022).
26. Стратегия цифровой трансформации: написать, чтобы выполнить / под ред. Е.Г. Потаповой, П.М. Потеева, М.С. Шклярук. – М.: РАНХиГС, 2021. – 184 с.
27. Зяблов А.А., Морозенко А.А., Теличенко В.И. Херувимов И.А. Цифровые форматы анализа данных для принятия управленческих решений на разных организационных уровнях при реализации сложных проектов капитального строительства // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования: сб. докл. Первой национальной конференции. – М.: Изд-во Нац. исслед. Моск. гос. строит. ун-та, 2020. – С. 307–314
28. Цифровой продукт Росатома «Мульти-Д Объединенный график» для управления строительством сложных инженерных объектов вышел на открытый рынок. – URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2020/12/24/110107> (дата обращения: 11.03.2022).
29. Обыденов А.Ю., Козлов А.В. Анализ ключевых компонентов цифровых платформ. Экосистемно-стейкхолдерский подход // Креативная экономика. – 2020. – № 12. – С. 3229–3246.

References

1. Travush V.I. Cifrovye tekhnologii v stroitel'stve [Digital technologies in construction]. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*, 2018, no. 3, pp. 107-117. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117
2. Erofeev V.T., Piksajkina A.A., Bulgakov A.G., Ermolaev V.V. Cifrovizaciya v stroitel'stve, kak effektivnyj instrument sovremennogo razvitiya otrasli [Digitalization in construction as an effective tool for the modern development of the industry]. *Ekspert: teoriya i praktika*, 2021, no. 3 (12), pp. 9-14.
3. Chekalkin A.A., Makarova E.Yu. Povyshenie kvalifikacii professorsko-prepodavatel'skogo personala politekhnicheskogo universiteta po napravleniyu «tehnika i tekhnologii stroitel'stva» [Advanced training of the teaching staff of the Polytechnic University in the direction of "engineering and construction technologies"]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2018, no. 1, pp. 122-136. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.12
4. Shevchenko-Savlakova N.M., Sychyova Yu.S. Cifrovizaciya stroitel'stva: novye navyki specialistov stroitel'noj otrasli [Digitalization of construction: new skills of construction industry specialists]. *Professional'noe obrazovanie*, 2021, no. 3 (45), pp. 3-8.
5. Dmitriev A.N., Vladimirova I.L. Tekhnologii informacionnogo modelirovaniya v upravlenii stroitel'nymi proektami Rossii [Information modeling technologies in the management of construction projects in Russia]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2019, no. 10, pp. 48-59.

6. Talapov V.V. O nekotorykh principah, lezhashchih v osnove BIM [About some of the principles underlying BIM]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*, 2016, no. 4, pp. 108-114.

7. Dmitriev A.N., Cygankova A.A., Papikyan L.M. Tekhnologii BIM i ih mesto v upravlenii proektami vnedreniya stroitel'nyh innovacij [BIM technologies and their place in project management for the implementation of construction innovations]. *Sb. materialov VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Sovremennye problemy upravleniya proektami v investicionno-stroitel'noj sfere i prirodopol'zovanii" (11-15 aprelya 2018 g., Moskva)*. M.: REU im. G.V. Plekhanova, 2018, pp. 186-195.

8. Ginzburg A.V. Informacionnaya model' zhiznennogo cikla stroitel'nogo ob'ekta [Information model of the life cycle of a construction object]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2016, no. 9, pp. 61-65.

9. Muhametrahimov R. Kh., Vahitov I.M. Additivnaya tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzhenij s primeneniem stroitel'nogo 3D-printera [Additive technology for the construction of buildings and structures using a construction 3D printer]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2017, no. 4 (42), pp. 350-359.

10. Mukhametrakhimov R. Kh., Lukmanova L.V. Structure and properties of mortar printed on a 3D printer, *Magazine of Civil Engineering*, 2021, no. 2 (102), pp. 10206.

11. Pimenov S.I. Povyshenie bezopasnosti i effektivnosti tekhnologicheskogo processa v stroitel'stve putem ego avtomatizacii [Improving the safety and efficiency of the technological process in construction by automating it]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2019, no. 5 (221), pp. 16-19.

12. Luneva D.A., Kozhevnikova E.O., Kaloshina S.V. Primenenie 3D-pechati v stroitel'stve i perspektivy ee razvitiya [Application of 3D printing in construction and prospects for its development]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 90-101. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.08

13. Grahov V.P., Mohnachev S.A., Manohin P.E., Ishtryakov A.H. Sovershenstvovanie organizacii proektnykh работ putem vnedreniya tekhnologij informacionnogo modelirovaniya zdaniy [Improving the organization of design work through the introduction of building information modeling technologies]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 1-1, pp. 615.

14. Aleksanin A.V., ZHarov Ya.V. Potencial ispol'zovaniya cifrovyykh informacionnykh modelej v ramkah upravleniya stroitel'stvom [The potential of using digital information models in the framework of construction management]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2022, no. 1, pp. 52-55. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.01.52-55

15. Ginzburg A.V. BIM-tekhnologii na protyazhenii zhiznennogo cikla stroitel'nogo ob'ekta [BIM technologies throughout the life cycle of a construction object]. *Informacionnye resursy Rossii*, 2016, no. 5 (153), pp. 28-31.

16. Suncov A.S., Simchenko O.L., Tolkachev Yu.A., Chazov E.L., Samigullina D.R. Analiz zrelosti BIM-reshenij kak instrumenta obespecheniya zhiznennogo cikla zdaniya [Analysis of the maturity of BIM solutions as a tool for ensuring the life cycle of a building]. *Construction and Geotechnics*, 2020, vol. 11, no. 3, pp. 41-53. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.3.04

17. Bachurina S.S., Sultanova I.P. Konceptiya sozdaniya ekonomiko-vizual'noj modeli – instrumenta povysheniya effektivnosti investicionno-stroitel'nyh proektov [The concept of creating an economic and visual model - a tool for improving the efficiency of investment and construction projects]. *Gradostroitel'stvo*, 2015, no. 1 (35), pp. 11-14.

18. Dmitriev A.N. Razvitie cifrovyykh metodov ocenki innovacij investicionno-stroitel'nyh proektov dlya povysheniya ih energoeffektivnosti [Development of digital methods for evaluating innovations of investment and construction projects to improve their energy efficiency]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2018, no. 7, pp. 13-20.

19. Bovteev S.V., ZHivotyagin D.A. Razvitie metodov planirovaniya i kontrolya riskov v stroitel'stve [Development of methods of planning and risk control in construction]. *Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva: materialy II Vseros. nauch. konf. (Sankt-Peterburg, 4-5 fevralya 2020 g.)*. Sankt-Petersburg: SPbGASU, 2020, pp. 128-136.
20. Sborshchikov S.B., Lejbman D.M. Integral'nyj kontrol' realizatsii proektov stroitel'stva tekhnicheski slozhnyh i unikal'nyh ob"ektov [Integrated control of the implementation of projects for the construction of technically complex and unique facilities]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2018, no. 7, pp. 13-20.
21. Yudina A.F., Grigor'ev S.Yu., Velichkin V.Z. Ispol'zovanie BIM-tehnologij dlya kontrolya kachestva proektov stroitel'noj infrastruktury [Using BIM technologies for quality control of construction infrastructure projects]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*, 2020, no. 2 (79), pp. 132-137.
22. Bovteev S.V., Nadim K.R. Hurejni. Klassifikatsii i parametry riskov stroitel'nyh proektov [Classifications and risk parameters of construction projects]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*, 2021, no. 6 (89), pp. 79-86.
23. Bovteev S.V., Mishakova A.V. Vozmozhnosti primeneniya metoda ocenki i analiza programm dlya kontrolya srokov stroitel'nogo proekta [The possibilities of using the method of evaluation and analysis of programs to control the timing of a construction project]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*, 2020, no. 4 (81), pp. 115-121.
24. Bovteev S.V. Praktika primeneniya 4D-modelirovaniya v stroitel'stve [The practice of using 4D modeling in construction]. *BIM-modelirovanie v zadachah stroitel'stva i arhitektury. Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Pod obshchej redakciej A.A. Semenova*. Sankt-Petersburg, 2021, pp. 77-84.
25. Gosudarstvo kak platforma: lyudi i tekhnologii [The state as a platform: people and technologies], pod red. M.S. Shklyaruk. M.: RANHiGS, 2019. URL: <https://www.ranepa.ru/images/News/2019-01/16-01-2019-GovPlatform.pdf> (accessed: 11.03.2022).
26. Strategiya cifrovoj transformatsii: napisat', chtoby vypolnit' [Digital Transformation Strategy: write to execute], pod red. E.G. Potapovoj, P.M. Poteeva, M.S. Shklyaruk. M.: RANHiGS, 2021, 184 p.
27. Zyablov A.A., Morozenko A.A., Telichenko V.I., Heruvimov I.A. Cifrovye formaty analiza dannyh dlya prinyatiya upravlencheskih reshenij na raznyh organizatsionnyh urovnayah pri realizatsii slozhnyh proektov kapital'nogo stroitel'stva [Digital data analysis formats for management decision-making at different organizational levels in the implementation of complex capital construction projects]. *Aktual'nye problemy stroitel'noj otrasli i obrazovaniya: Sbornik dokladov Pervoj Nacional'noj konferencii*. Moskva: Izdatel'stvo Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet, 2020, pp. 307-314.
28. Cifrovoy produkt Rosatoma «Mul'ti-D Ob"edinennyj grafik» dlya upravleniya stroitel'stvom slozhnyh inzhenernyh ob"ektov vyshel na otkrytyj rynek [Rosatom's digital product "Multi-D Unified Schedule" for managing the construction of complex engineering facilities has entered the open market]. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2020/12/24/110107> (accessed: 11.03.2022).
29. Obydenov A.Yu., Kozlov A.V. Analiz klyuchevykh komponentov cifrovyyh platform. Ekosistemno-stejkkholderskij podhod [Analysis of key components of digital platforms. Ecosystem-stakeholder approach]. *Kreativnaya ekonomika*, 2020, no. 12, pp. 3229-3246.