

DOI: 10.15593/2224-9826/2023.2.09

УДК 69.05

## СТРОИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КАК ИНСТРУМЕНТ СНИЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ОПЕРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

С.И. Пименов, Л.А. Коклюгина

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия

### О СТАТЬЕ

Получена: 29 декабря 2022

Одобрена: 17 марта 2023

Принята к публикации:  
03 июля 2023

#### Ключевые слова:

динамическая организационно-технологическая модель, строительная информационная модель, информационная неопределенность, оперативное управление.

### АННОТАЦИЯ

Строительство объектов капитального строительства – сложная вероятностная динамическая система, которая подвергается многочисленным внешним и внутренним факторам. Со сложностью, уникальностью объекта строительства или при стесненности условий производства работ количество таких факторов повышается, как следствие, увеличивается информационная неопределенность в управлении строительством, что приводит к снижению эффективности применения традиционных организационно-технологических моделей. Требуется поиск новых и совершенствование существующих моделей. Одной из таких моделей является строительная информационная модель. Целью работы является обоснование снижения информационной неопределенности в оперативном управлении строительством путем изменения структурных связей в системе управления строительством и применением строительной информационной модели как динамической организационно-технологической модели.

Переход на технологии информационного моделирования требует от основных участников инвестиционно-строительного проекта изменения формы взаимодействия, а также изменений схем связей в структурах отдельных организаций. Например, руководящим составом строительных организаций должно осуществляться непрерывное управление строительством с применением строительной информационной модели. Организационная структура, в которой применяется строительная информационная модель, положительно влияет на следующие аспекты управляющей системы: сокращает транзакционные издержки между подразделениями, службами; обеспечивает высокую информативность; улучшает согласованность информации между службами благодаря анализу данных из единого источника; ускоряет процесс принятия решений; увеличивает устойчивость системы управления с учетом внешних и внутренних факторов; повышает организационную надежность.

Значимость представленных результатов для строительной отрасли состоит в снижении информационной неопределенности в оперативном управлении строительством за счет изменений структурных связей и схемы передачи информации, а также осуществления непрерывного сбора, хранения и анализа информации, поступающей со строительной площадки в единую строительную информационную модель.

© ПНИПУ

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

Коклюгина Людмила Алексеевна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: the-lusy@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6415-4063.

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

Ludmila A. Kokliugina – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: the-lusy@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6415-4063.



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

## CONSTRUCTION INFORMATION MODEL AS A TOOL TO REDUCE INFORMATION UNCERTAINTY IN THE OPERATIONAL MANAGEMENT OF CONSTRUCTION

S.I. Pimenov, L.A. Kokliugina

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

---

### ARTICLE INFO

Received: 29 December 2022  
Approved: 17 March 2023  
Accepted for publication:  
03 July 2023

#### Keywords:

dynamic organizational and technological model, construction information model, information uncertainty, operational management.

### ABSTRACT

The construction of capital construction projects is a complex probabilistic dynamic system subject to numerous external and internal factors. With the complexity, uniqueness of the construction object or constrained conditions for the production of work, the number of such factors increases, as a result, information uncertainty in construction management increases, which leads to a decrease in the effectiveness of the use of traditional organizational and technological models. It is required to search for new and improve existing models. One such model is the construction information model. The purpose of the article is to substantiate the reduction of information uncertainty in the operational management of construction by changing the structural links in the construction management system and the use of a construction information model as a dynamic organizational and technological model.

The transition to information modeling technologies requires the main participants in the investment and construction project to change the form of interaction, as well as changes in communication patterns in the structures of individual organizations. For example, the management of construction organizations should continuously manage construction using a building information model. The organizational structure in which the building information model is used positively affects the following aspects of the control system: reduces transaction costs between departments and services; provides high information content; improves the consistency of information between services by analyzing data from a single source; speeds up the decision-making process; increases the stability of the management system, taking into account external and internal factors; enhances organizational reliability.

The significance of the presented results for the construction industry is to reduce information uncertainty in the operational management of construction by changing the structural links and information transfer scheme, as well as the continuous collection, storage and analysis of information coming from the construction site into a single construction information model.

© PNRPU

---

## Введение

В строительстве, как и других областях народного хозяйства, первые автоматизированные технологии создавались и внедрялись там, где были сложные задачи и большие объемы вычислений [1]. Одной из целей создания автоматизированного программного обеспечения являлось облегчение работы сотрудникам путем автоматизации расчетов по нужным формулам и правилам, повышение эффективности в процессе анализа получаемой информации и принятия решений.

В период 1960–1970-х гг. широко проводились отечественные исследования в области кибернетики, автоматизации и информатизации производства. У истоков этого направления стояли П.К. Анохин, А.И. Берг, О.М. Белоцерковский, Г.С. Поспелов, В.М. Глушков, Н.П. Бусленко. Существенный вклад в развитие направлений автоматизации строительства внес А.А. Гусаков. И в этот период определилось основное направление его исследований – системотехника строительства, как наука о создании сложных автоматизированных технических систем в строительстве [2]. В рамках этого направления школой А.А. Гусакова создано представление о процессе строительства, как о сложной вероятностной динамической системе, подверженной многочисленным внешним и внутренним воздействиям и находящейся в постоянном изменении и развитии. В вероятностных динамических системах влияние лишь одного фактора не всегда можно оценить, так как конечный результат зависит не только от одного изучаемого в данном случае фактора, а от взаимодействия комплекса факторов [2, 3]. Из практики видно, что достаточно сложно создавать идеальную модель строительства, в которой отсутствуют простои, отказы, полностью соблюдаются заданные параметры времени и

стоимости, что и обуславливается влиянием случайных факторов. С учетом этого в модели предусматриваются и возможные риски с целью их минимизации.

Одной из моделей в организации и управления строительства является календарный план. По мнению автора [4], календарный план незаменим для задач организации, планирования и управления строительным производством в условиях ограничения реализации строительного проекта по времени, многих случайных и не прогнозируемых факторов.

Календарные планы строительства объекта входят в перечень обязательных документов проекта организации строительства и проекта производства работ. На их основе решаются такие задачи, как планирование, организация, учет, контроль и регулирование строительства объекта [5]. Графики строительства обеспечивают решение управленческих задач необходимой информацией при строительстве типовых и несложных объектов.

Со сложностью, уникальностью объекта капитального строительства или при стесненности условий производства работ такие графики теряют свою эффективность, поскольку на их основании становится трудно прогнозировать в динамике строительства изменения, риски. Они позволяют лишь до начала строительства произвести предварительное планирование производства работ и организовать строительную площадку. Одно лишь перемещение бригады на новый фронт или монтажного крана на новую стоянку в процессе строительства не по плану, ввиду непредвиденных обстоятельств, например отсутствия зоны складирования поступивших материалов, может привести к необходимости перепланирования всех смежных работ, поскольку для планирования строительно-монтажных работ необходимо учитывать не только технологические связи и зависимости, но и организационные. Подобного рода изменения происходят повсеместно, зачастую их не фиксируют, календарные графики оставляют без изменений. Возникает двойственность требований к источнику информации, т.е. к графику строительства [5]. С одной стороны, он не должен изменяться, поскольку уже согласован с заинтересованными сторонами и утвержден, с другой стороны – график должен быть реальной моделью и информационным источником принятия рациональных управленческих решений в случаях появления непредвиденных факторов.

С отклонением от плана и организации строительства управление строительством по статической модели, например «бумажной версии» проекта производства работ, становится формальностью, поскольку она не содержит в себе тех изменений, которые происходят на строительной площадке, что в итоге приводит к появлению пространственно-временных коллизий производства работ, простоев, перерасходу времени и финансов подрядных организаций и заказчика. Так, в строительстве подобные простои оценивают в более чем 30 % от общей продолжительности строительства [6].

Нельзя недооценивать важность полноты информации о текущей системе строительства, поскольку это влияет на адекватность принимаемых решений в организационных системах. Предвидеть и принять рациональные управленческие решения в условиях недостатка информации затруднительно. При отсутствии сбора, обработки и хранения информации в ходе строительства эффективное управление сводится на нет, поскольку увеличивается информационная неопределенность [5, 7, 8].

До сих пор процесс организационно-технологического проектирования и возведения объектов строительства гораздо менее формализован и, следовательно, автоматизирован, чем процесс создания, например, печатной платы электронной схемы или машиностроительной детали. На большинстве строительных площадок в нашей стране отсутствуют технологии агрегации информации этапов строительства в единую информационную сис-

тему. Потоки информации ведутся разрозненно и не доходят своевременно до всех заинтересованных участников строительства.

В таких условиях отсутствует классификация рисков или возможности их систематизации, так как каждый участник строительного процесса отвечает лишь за свои участки и этапы (А.А. Лapidус, Г.Б. Сафарян [9], А.А. Лapidус [10], Л.А. Коклюгина, А.В. Коклюгин [11]). При отсутствии аналитики, измерений эффективности строительного производства, адаптаций к меняющимся условиям, а также анализа выявленных аномалий в строительных процессах на одном объекте на последующих объектах строительным организациям достаточно сложно адекватно управлять строительным производством, поскольку от объекта к объекту обнаруживаются систематические сбои, простои, в том числе из-за разрозненности, недостатка или некорректности информации у различных служб. Чтобы определить реальный вклад каждого отдела и каждого сотрудника, а также определить слабые стороны структуры управления, необходимо получить обратную связь со строительной площадкой. Эта обратная связь может быть выражена в фиксации того или иного отказа возникшего на монтаже, с присвоением ему причины.

С возникновением кибернетики как науки об управлении, показавшей, что информация имеет непосредственное отношение к процессам управления и развития, обеспечивающим устойчивость и выживаемость разных систем, информацию стали рассматривать как механизм, уменьшающий информационную неопределенность [8, 12]. Основной задачей информатизации является организация потоков информации, их стыковка, взаимосвязка, исключение дублирования информации, обеспечение ее корректности. Поэтому информационное обеспечение принятия управленческих решений, в том числе в строительстве, является важным в теории и практических методах организации управления.

С развитием науки и техники появляется более совершенное программное обеспечение. На смену небольшим программам, решающим отдельные организационные и управленческие задачи, пришли крупные программные комплексы, позволяющие загружать больше информации, решать комплексно ряд задач и создавать более благоприятные условия для пользователя [13–15].

Общемировая тенденция развития современных цифровых технологий потребовала внедрения в проектирование, строительство и эксплуатацию технологии информационного моделирования [16]. Информационное моделирование объектов строительства – процесс создания и использования информации по строящимся, а также завершенным объектам строительства в целях координации входных данных, организации совместного производства и хранения данных, а также их использования для различных целей на всех стадиях жизненного цикла (СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла»). По своей концепции технология информационного моделирования предусматривает наполнение информационных моделей необходимыми данными и атрибутами, а также агрегацией и дополнением новыми данными на последующих этапах реализации строительного проекта. Сбор, обработка и анализ поступающей информации со строительной площадки должны проводиться и учитываться в принятии оперативных управленческих решений.

Согласно СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла», при переходе строительного проекта со стадии проектирования в строительство предусматривается формирование строительной модели, исходной информацией для которой служит проектная модель (рисунок) [17].

Благодаря существующим программным комплексам информационного моделирования можно создавать цифровые информационные модели: проектную информационную модель, включающую представление объекта в виде 3D-модели, а в последующем – строительную информационную модель, включающую визуализацию строительного производства объекта в виде 4D-модели (строительной цифровой информационной модели) (С.И. Пименов [17, 19], J.P. Zhang, Z.Z. Hu [18], С.В. Бовтеев [20, 21], Sh. Staub-French, A. Khanzode [22]).

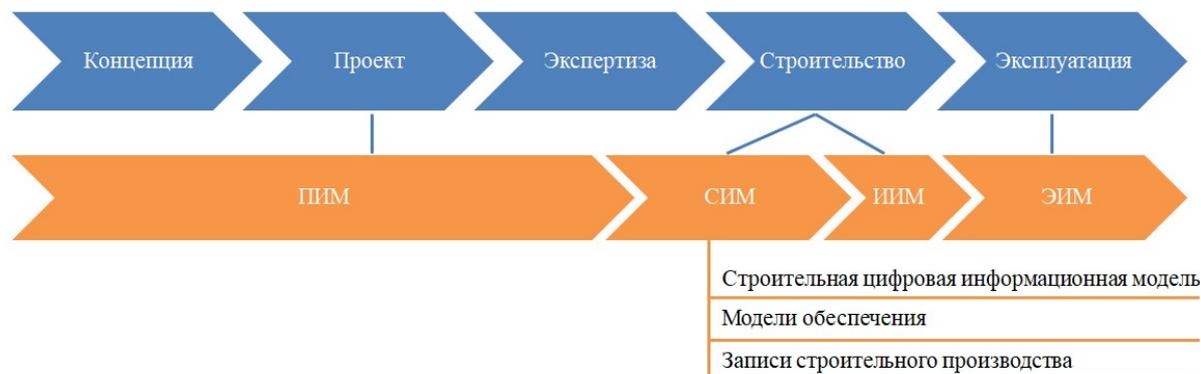


Рис. Стадии жизненного цикла объекта капитального строительства и связанные с ними информационные модели: ПИМ – проектная информационная модель; СИМ – строительная информационная модель; ИИМ – исполнительная информационная модель; ЭИМ – эксплуатационная информационная модель

Fig. Stages of the life cycle of a capital construction object and related digital information models: Notes: PIM – project information model, CIM – construction information model, IMM – executive information model, EIM – operational information model

Строительная цифровая информационная модель как элемент строительной информационной модели, представляет собой динамическую информационную модель строительного производства, включающую, помимо представления объекта капитального строительства, информационную модель местности, календарно-сетевой график производства работ, объемы по фронтам работ, назначенные трудовые, технические и материальные ресурсы и их движение в процессе строительства. Такая цифровая модель позволяет наглядно планировать, анализировать график строительства объекта, вносить корректировки и проще управлять им [23]. Заложенные организационно-технологические решения в строительную цифровую информационную модель до и во время этапа строительства могут быть наглядно проанализированы путем моделирования нескольких вариантов с целью поиска и выбора наиболее эффективного, с заблаговременным обнаружением пространственно-временных конфликтов на рабочих участках. В этих условиях, с наличием более полной информации, вероятность выработки рациональных управляющих решений становится выше.

В данной статье управление строительством рассматривается как управление сложной динамической системой. Влияние внешних и внутренних факторов при строительстве требует применения новых подходов к повышению эффективности организационно-технологического моделирования и снижения информационной неопределенности в управлении, например, использованием строительной информационной модели. Термин «информационная неопределенность» можно рассматривать как недостаток, некорректность, несогласованность информации.

Целью данной работы является обоснование снижения информационной неопределенности в оперативном управлении строительством путем изменения структурных связей в

системе управления строительством и применением строительной информационной модели как динамической организационно-технологической модели.

## **Материалы и методы**

Информационная неопределенность в оперативном управлении строительства неразрывно связана со структурными связями в организационной структуре управляющей системы. В литературных источниках приводится разный набор характеристик, которым должна отвечать современная организационная структура системы управления. К некоторым из них относятся: адаптивность, устойчивость, оперативность, коммуникативность, надежность, организационная культура.

На основании ряда указанных характеристик в статье приводится сравнение организационных структур управляющих систем: классической и предлагаемой с применением СИМ.

В работе использованы общенаучные методы исследования: моделирование, классификация, логический анализ.

## **Результаты и обсуждение**

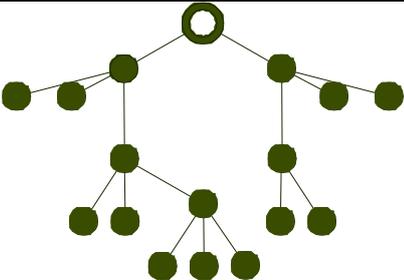
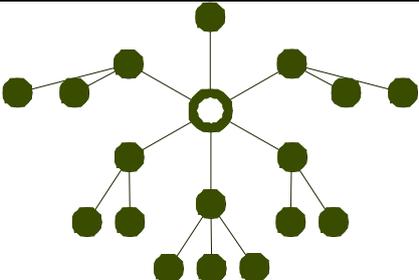
Переход на технологии информационного моделирования требует от основных участников инвестиционно-строительного проекта изменения формы их взаимодействия [21]. Помимо этого, требуется и внесение изменений в схему структурных связей отдельных организаций, в том числе с изменением функций и обязанностей для ряда сотрудников. Так, например, для строительных организаций взамен проведения периодических совещаний (штабов) должно осуществляться непрерывное управление с ситуационно-моделирующего центра, организованного на территории строительной площадки (предпочтительней), с очным или дистанционным участием служб заказчика, генерального проектировщика, генерального подрядчика, заводов – производителей изделий, конструкций, оборудования, надзорных органов как в период подготовительных работ, так и в течение основного периода строительства.

Одним из основных требований правильного использования СИМ является ее систематическое наполнение актуальными данными, т.е. СИМ должна в ежедневном/еженедельном режиме генерировать потоки информации, поступающие со строительной площадки (по радио и мобильной связи, фото- и видеотчетам через специализированное программное обеспечение с привязкой к участку строительных работ), путем внесения в нее данных сотрудником, отвечающим за ведением строительной информационной модели. Внося записи о корректировках целевого плана, данные о фактических сроках, движении материально-технических ресурсов, проводя учет объемов выполненных работ, контроль качества выполнения работ позволят в режиме реального времени поддерживать строительную информационную модель в актуальном состоянии, которая послужит обобщенной моделью и источником достоверной информации для оперативного анализа комплекса параметров, что обеспечит уменьшение неопределенности в управлении. Это обуславливается тем, что будет известно больше актуальных параметров системы на момент принятия решения. И в этой связи информация из СИМ будет являться основой принятия управленческих решений в ситуационно-моделирующем центре, как на уровне заказчика, так и главного инженера, начальника участка или прораба.

В таблице приводится сравнение схем связей в организационных структурах управления строительной организацией: классической и с применением СИМ.

**Сравнение схем связей в организационных структурах  
управления строительной организацией**

**Comparison of linkage schemes in the organizational  
management structures of the construction organization**

Параметр	Схемы связей в организационной структуре	
	классическая (иерархическая)	предлагаемая с СИМ (смешанная центричная)
Схема связей в организационной структуре и передачи информации между службами		
Транзакционные издержки между подразделениями, службами	+	-
Информационная насыщенность	-	+
Согласованность информации между подразделениями, службами (коммуникативность)	-	+
Оперативность согласованного принятия решений	-	+
Устойчивость системы управления к внешним и внутренним факторам	-	+
Организационная надежность	-	+
Затраты на покупку специализированного программного обеспечения, ведение СИМ	-	+

Предлагаемая схема связей в организационной структуре с применением СИМ изменяет в положительную сторону следующие характеристики управляющей системы: сокращает транзакционные издержки между подразделениями, службами; обеспечивает высокую информативность; улучшает согласованность информации между службами благодаря анализу данных из единого источника; ускоряет процесс принятия решений; увеличивает устойчивость системы управления с учетом внешних и внутренних факторов; повышает организационную надежность. К недостаткам можно отнести: необходимость закупки специализированного программного обеспечения, прохождение обучения сотрудников, ведение СИМ.

Безусловно, ведение строительной информационной модели становится более затратным процессом, чем классическая разработка организационно-технологической документации и использование несовершенного программного обеспечения по календарно-сетевому планированию, однако с учетом вышеперечисленных положительных изменений

шансы реализовать строительный проект надлежащего качества, в директивный срок и с непревышением бюджета увеличатся.

Предполагается, что с функционированием ситуационно-моделирующего центра и применением технологии информационного моделирования строительная информационная модель должна наиболее полно предоставлять информацию сотрудникам подрядных организаций, координировать их работу, поскольку именно от деятельности подрядных организаций напрямую зависит эффективность реализации строительного проекта. За счет централизованного ресурсного планирования работ с учетом имеющихся и появляющихся в ходе строительства различных ограничений, неопределенность в оперативном управлении уменьшится.

Это можно объяснить тем, что будет налажено эффективное взаимодействие основных участников проекта для согласования вариантов организационно-технологических решений строительства, заложенными в строительную информационную модель, как на этапе подготовительных работ, так и с ее актуализацией в ходе строительства; будет предоставляться достоверная информация для основных участников строительства о сроках строительно-монтажных работ, движении рабочей силы, машин и механизмов, графиках поставок материально-технических ресурсов и т.п. из строительной информационной модели; благодаря сбору актуализированной информации становится точнее проведение анализа расходования ресурсов, сравнение с плановыми показателями проекта, анализа и проведения мероприятий по снижению рисков для приближения реализации проекта к плановым показателям.

## **Выводы**

Выявлено отсутствие технологии агрегации информации этапов строительства в единую информационную систему. Потоки информации ведутся разрозненно и не доходят своевременно до всех заинтересованных участников строительства. В таких условиях отсутствует классификация рисков и возможность их систематизации.

Установлено, что для повышения эффективности реализации строительных проектов требуется применение новых подходов к организационно-технологическому моделированию, например использование динамической модели – строительной информационной модели. С применением строительной информационной модели необходимо внесение изменений в структурные связи управляющей системы, в том числе с изменением функций и обязанностей для ряда сотрудников.

Предложена схема структурных связей управляющей системы, предусматривающая применение строительной информационной модели, которая позволит снизить информационную неопределенность и изменить в положительную сторону следующие характеристики управляющей системы: сократить транзакционные издержки между подразделениями, службами; предоставлять отдельным службам согласованную информацию; увеличить оперативность принятия решений; повысить устойчивость системы управления.

***Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.*

***Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

***Вклад авторов.** Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.*

## **Библиографический список**

1. Абрамов В.И., Евдокимов Д.С. Автоматизированные системы управления экономикой СССР как прообразы современных ситуационных центров Российской Федерации // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2020. – № 7. – С. 13–24. DOI: 10.26726/1812-7096-2020-07-13-24
2. Гусаков А.А. Системотехника и новые направления строительной науки // Промышленное и гражданское строительство. – 2005. – № 1. – С. 82–83.
3. Жавнеров П.Б., Гинзбург А.В. Повышение организационно-технологической надежности строительства за счет структурных мероприятий // Вестник Московского государственного строительного университета. – 2013. – № 3. – С. 196–200.
4. Киянец А.В. Оптимизация календарных планов по критерию неравномерности трудовых ресурсов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 23–28. DOI: 10.14529/build210303
5. Гусев Е.В. Некоторые аспекты повышения надежности управленческих решений в строительстве // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 123–128. DOI: 10.14529/ctcr200313
6. Никоноров С.В., Мельник А.А. Повышение организационно-технологической надежности строительства в современных условиях // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 19–23. DOI: 10.14529/build190303
7. Саитгараев А.Ф. Информационное моделирование зданий как инструмент оперативного управления ходом строительного процесса // Вестник университета. – 2017. – № 7-8. – С. 51–56.
8. Снижение неопределенности при принятии стратегических управленческих решений в условиях цифровой трансформации / В.В. Великороссов, С.А. Филин, А.В. Речинский, Л.В. Черненькая, А.В. Черненький // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. тр. XXIV Междунар. науч. и учеб.-практ. конф.: в 3 ч. – Ч. 1. – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – 2020. – С. 287–293.
9. Лapidус А.А., Сафарян Г.Б. Организационно-технологическая надежность производственно-логистических процессов в строительстве // Наука и бизнес. – 2019. – № 3 (93). – С. 148–152.
10. Лapidус А.А. Формирование организационно-технологических платформ в строительстве // Строительное производство. – 2022. – № 1. – С. 2–6. DOI: 10.54950/26585340\_2022\_1\_2
11. Коклюгина Л.А., Коклюгин А.В. К вопросу о разработке организационно-технологической документации // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2009. – № 1 (11). – С. 318–321.
12. Жаров Я.В. Решение задач организационно-технологического проектирования при помощи методов многомерного моделирования // Системы. Методы. Технологии. – 2016. – № 3 (31). – С. 106–110. DOI: 10.18324/2077-5415-2016-3-106-110
13. 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.

14. 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
15. Богданов А.Н., Алешутин И.А. Наземное лазерное сканирование в строительстве и BIM-технологиях // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2018. – № 4 (46). – С. 326–332.
16. Букалова А.Ю., Авдеева К.В. Постановка задачи разработки методических основ информационного моделирования процесса сметного нормирования для оптимизации проектных работ // *Construction and Geotechnics*. – 2020. – Т. 11, № 4. – С. 81–93. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.4.07.
17. Пименов С.И. Строительная информационная модель // *Construction and Geotechnics*. – 2022. – Т. 13, № 3. – С. 72–84. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.3.07
18. Zhang J.P., Hu Z.Z. BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies // *Automation in construction*. – 2011. – Т. 20, № 2. – С. 155–166. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.09.014
19. Пименов С.И. Анализ современных программных комплексов для виртуального строительства (4D-моделирования) // *Научный журнал строительства и архитектуры*. – 2022. – № 3. – С. 92–104. DOI: 10.36622/VSTU.2022.67.3.009
20. Бовтеев С.В. Применение 4D-моделирования в целях повышения эффективности календарного планирования строительства // *BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практ. конф.* – СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – С. 81–87.
21. 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.
22. Staub-French Sh., Khanzode A. 3D and 4D modeling for design and construction coordination: Issues and lessons learned // *Electronic Journal of Information Technology in Construction*. – 2007. – Vol. 12. – P. 381–407.
23. Возможности цифровых технологий для каждого этапа жизненного цикла строительной системы / С.Г. Абрамян, О.В. Бурлаченко, О.В. Оганесян, А.О. Бурлаченко, В.В. Плешаков // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. – 2022. – № 2(87). – С. 317–325.

## References

1. Abramov V.I., Evdokimov D.S. Avtomatizirovannye sistemy upravleniya ekonomikoj SSSR kak proobrazy sovremennyh situacionnyh centrov Rossijskoj Federacii [Automated control systems for the economy of the USSR as prototypes of modern situational centers of the Russian Federation]. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki*, 2020, no. 7, pp. 13-24. DOI: 10.26726/1812-7096-2020-07-13-24.
2. Gusakov A.A. Sistemotekhnika i novye napravleniya stroitel'noj nauki [System engineering and new directions of construction science]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2005, no. 1, pp. 82-83.
3. Zhavnerov P.B., Ginzburg A.V. Povyshenie organizacionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti stroitel'stva za schet strukturnyh meropriyatij [Improving the organizational and technological reliability of construction through structural measures]. *Vestnik MGSU*, 2013, no. 3, pp. 196-200.

4. Kiyanec A.V. Optimizaciya kalendarnykh planov po kriteriyu neravnomernosti trudovykh resursov [Optimization of calendar plans according to the criterion of uneven labor resources]. *Vestnik YuUrGU. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2021, T. 21, no. 3, pp. 23–28. DOI: 10.14529/build210303

5. Gusev E.V. Nekotorye aspekty povysheniya nadezhnosti upravlencheskikh reshenij v stroitel'stve [Some aspects of improving the reliability of management decisions in construction]. *Vestnik YuUrGU. Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*, 2020, T. 20, no. 3, pp. 123–128. DOI: 10.14529/ctcr200313

6. Nikonorov, S.V., Mel'nik A.A. Povysheenie organizacionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti stroitel'stva v sovremennykh usloviyakh [Improving the organizational and technological reliability of construction in modern conditions]. *Vestnik YuUrGU. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2019, T. 19, no. 3, pp. 19–23. DOI: 10.14529/build190303.

7. Saitgaraev A.F. Informacionnoe modelirovanie zdaniy kak instrument operativnogo upravleniya hodom stroitel'nogo processa [Information modeling of buildings as a tool for operational management of the construction process]. *Vestnik universiteta*, 2017, no. 7-8, pp. 51–56.

8. Velikorossov V.V., Filin S.A., Rechinskij A.V., Chernen'kaya L.V., Chernen'kij A.V. Snizhenie neopredelennosti pri prinyatii strategicheskikh upravlencheskikh reshenij v usloviyakh cifrovoj transformacii [Reducing uncertainty in making strategic management decisions in the context of digital transformation]. *Sistemnyj analiz v proektirovanii i upravlenii. Sbornik nauchnykh trudov XXIV Mezhdunarodnoj nauchnoj i uchebno-prakticheskoy konferencii: v 3 ch..Tom Chast' 1. Sankt-Peterburgskij politekhnicheskij universitet Petra Velikogo*, St. Petersburg, 2020, pp. 287-293.

9. Lapidus A.A., Safaryan G.B. Organizacionno-tekhnologicheskaya nadezhnost' proizvodstvenno-logisticheskikh processov v stroitel'stve [Organizational and technological reliability of production and logistics processes in construction]. *Nauka i biznes*, 2019, no. 3 (93), pp. 148–152.

10. Lapidus A.A. Formirovanie organizacionno-tekhnologicheskikh platform v stroitel'stve [Formation of organizational and technological platforms in construction]. *Stroitel'noe proizvodstvo*, 2022, no. 1, pp. 2-6. DOI: 10.54950/26585340\_2022\_1\_2.

11. Koklyugina L.A., Koklyugin A.V. K voprosu o razrabotke organizacionno-tekhnologicheskoy dokumentacii [To the question of the development of organizational and technological documentation]. *Izvestiya KGASU*, 2009, no. 1(11), pp. 318-321.

12. Zharov Ya.V. Reshenie zadach organizacionno-tekhnologicheskogo proektirovaniya pri pomoshchi metodov mnogomernogo modelirovaniya [Solving problems of organizational and technological design using multidimensional modeling methods]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2016, no. 3 (31), pp. 106-110. DOI: 10.18324/2077-5415-2016-3-106-110.

13. Mukhametrakhimov 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 KGASU*, 2017, no. 4 (42), pp. 350–359.

14. 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.

15. Bogdanov A.N., Aleshutin I.A. Nazemnoe lazernoe skanirovanie v stroitel'stve i BIM-tekhnologiyah [Terrestrial laser scanning in construction and BIM-technologies]. *Izvestiya KGASU*, 2018, no. 4 (46), pp. 326–332.

16. Bukalova A.Yu., Avdeeva K.V. Postanovka zadachi razrabotki metodicheskikh osnov informacionnogo modelirovaniya processa smetnogo normirovaniya dlya optimizacii proektnyh rabot [Statement of the problem of development of methodological foundations of information modeling of the process of estimated rationing for optimization of design work]. *Construction and Geotechnics*, 2020, vol. 11, iss. 4, pp. 81–93. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.4.07

17. Pimenov S.I. Stroitel'naya informacionnaya model' [Construction information model]. *Construction and Geotechnics*, 2022, vol. 13, iss. 3, pp. 72–84. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.3.07

18. Zhang J.P., Hu Z.Z. BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. *Automation in construction*, 2011, T. 20, no. 2, pp. 155-166. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.09.014.

19. Pimenov S.I. Analiz sovremennyh programmnyh kompleksov dlya virtual'nogo stroitel'stva (4D-modelirovaniya) [Analysis of modern software systems for virtual construction (4D modeling)]. *Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury*, 2022, no. 3, pp. 92-104. DOI: 10.36622/VSTU.2022.67.3.009.

20. Bovteev S.V. Primenenie 4D-modelirovaniya v celyah povysheniya effektivnosti kalendarnogo planirovaniya stroitel'stva [Application of 4D modeling to improve the efficiency of construction scheduling]. *BIM-modelirovanie v zadachah stroitel'stva i arhitektury: materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.*, SPb.: SPbGASU, 2020. pp. 81-87.

21. 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, St. Petersburg, 2021, pp. 77-84.

22. Staub-French Sh., Khanzode A. 3D and 4D modeling for design and construction coordination: Issues and lessons learned. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 2007, Vol. 12, pp. 381-407.

23. Abramyan S.G., Burlachenko O.V., Oganessian O.V., Burlachenko A.O., Pleshakov V.V. Vozmozhnosti cifrovyyh tekhnologij dlya kazhdogo etapa zhiznennogo cikla stroitel'noj sistemy [Possibilities of digital technologies for each stage of the life cycle of a building system]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*, 2022, no. 2(87), pp. 317-325.