

УДК 658.5:624.05

© С. И. Пименов, канд. техн. наук, доцент
(Казанский государственный архитектурно-
строительный университет,
Казань, Россия)
E-mail: sergeypimenov12@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-4-68-76

© S. I. Pimenov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Kazan State University
of Architecture and Engineering,
Kazan, Russia)
E-mail: sergeypimenov12@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

INFLUENCE OF THE CONSTRUCTION INFORMATION MODEL ON THE EFFICIENCY OF THE CONSTRUCTION PRODUCTION MANAGEMENT

Достоверная и полная информация о текущей системе строительства является основой в процессах эффективного управления. Предполагается, что с более полным применением технологии информационного моделирования не только на этапе проектирования, но и этапе строительства повысится эффективность системы управления строительным производством (СУСП). Целью работы является оценка влияния строительной информационной модели (СИМ) на эффективность СУСП. В качестве методов исследования применялись системный анализ и метод экспертных оценок.

Установлено, что применение СИМ, предусматривающее смену режима управления с дискретного на непрерывный, а также изменение структурных связей СУСП позволят улучшить как отдельные параметры СУСП (согласованность, гибкость, адаптивность, оперативность, надежность), так и интегральный параметр. Таким образом, это повысит эффективность СУСП при использовании технологии информационного моделирования на этапе строительства.

Ключевые слова: технология информационного моделирования, строительная информационная модель, информационные потоки, аппарат управления строительным производством.

Reliable and complete information about the current construction system can be regarded as the basis for effective management processes. It is assumed that with a more extensive use of information modeling technology, not only at the design stage, but also at the construction stage, the efficiency of the construction production management system (CPMS) will increase. The aim of the study is to assess the impact of the construction information model (CIM) on the effectiveness of the CPMS. It is established that the use of CIM, which provides for a change in the control mode from discrete to continuous, as well as a change in the structural links of the CPMS, will improve both the individual parameters of the CPMS (consistency, flexibility, adaptability, efficiency, reliability) and the integral parameter. Thus, it is possible to increase the efficiency of CPMS when using Building Information Modeling at the construction stage.

Keywords: information modeling technology, construction information model, information flows, construction management apparatus.

Введение

Организационно-технологическая система в строительстве — сложная система, объединяющая комплекс организационных, технологических, технических и экономических мероприятий, направленных на решение задач строительного производства. Все ее элементы взаимосвязаны, в совокупно-

сти должны обеспечивать как эффективный процесс управления строительным производством, так и качественное выполнение строительных работ с обеспечением оптимального использования ресурсов, сокращения времени и затрат на строительство.

Обязательными элементами в составе организационно-технологических систем

в строительстве являются календарные планы (или календарно-сетевые графики), которые предоставляют важную информацию для решения управленческих задач при строительстве типовых и несложных объектов. На их основе разрабатываются оперативные планы или графики, а также решается комплекс задач: планирование, организация, учет, контроль и регулирование строительства объекта [1].

При работе со строительными проектами уникальных зданий и сооружений, проектами повышенного уровня сложности или при наличии стесненности условий производства работ календарные планы, теряют свою эффективность. Это обуславливается тем, что в приведенных примерах строительных проектов повышается уровень неопределенности, становится сложно планировать и взаимоувязывать между собой работы, прогнозировать возможные изменения, риски [2]. Разработка оптимального календарного плана традиционными методами становится непосильной задачей. Кроме того, появление непредвиденных работ, изменение количественного состава рабочих, смена мест расположения складских площадок, стоянок машин и механизмов и др. в ходе строительства может привести к необходимости перепланирования комплекса работ с пересмотром новых организационно-технологических связей и зависимостей между работами. Подобного рода изменения на строительных площадках происходят довольно часто, однако продолжается использование первоначальных календарных планов без их корректировок.

В случае появления существенных отклонений фактических работ от плана, первоначальной организационно-технологической модели, управление строительством по неактуальным данным становится формальностью. Отсутствие учета фактических данных со строительной площадки приводит к появлению пространственно-временных

коллизий производства работ, простоев, перерасходу времени и финансов подрядных организаций и заказчика. Так, например, в результате простоев общая продолжительность строительства увеличивается более чем на 30 % [3].

Определение источников проблем и принятие оптимальных управленческих решений в процессе строительства требует полной и достоверной информации о текущей системе строительства. Однако на большинстве строительных площадок отсутствуют технологии агрегации фактической информации в единую информационную систему или платформу. В таких условиях каждый участник строительного процесса отвечает лишь за свои локальные участки и этапы, передача информации до заинтересованных лиц осуществляется разрозненно и зачастую несвоевременно, что затрудняет определение и классификацию рисков, осложняет эффективное управление. С целью повышения эффективности управления строительным производством необходимо применение более совершенных средств и программного обеспечения (ПО) для передачи данных и создание таких условий, при которых будет производиться своевременная фиксация фактических изменений на строительной площадке и накопление информации в единой информационной системе или платформе [1, 4–8].

С развитием цифровизации в строительстве бумажный документооборот заменяется на электронный, внедряется работа над проектом в интерактивной форме, совершенствуются действующие и появляются новые виды ПО, предназначенные для решения организационных и управленческих задач. На смену небольшим ПО приходят крупные, объединяющие в себе функции более простых, позволяющие импортировать и генерировать больше информации, решать комплексно ряд задач, создавать более бла-

гоприятные условия для работы сотрудникам [9, 10].

Мировой тренд развития современных цифровых технологий потребовал внедрения в основные этапы жизненного цикла объектов капитального строительства технологии информационного моделирования (ТИМ) [11, 12]. Благодаря существующему ПО, относящемуся к инструментам технологии информационного моделирования, можно создавать проектную информационную модель, включающую представление объекта в виде 3D-модели, а в последующем — строительную информационную модель (СИМ), включающую визуализацию строительного производства объекта в виде 4D-модели [13–17]. С прохождением строительного проекта через основные этапы жизненного цикла важным требованием является соблюдение связности и единства информации в различных информационных моделях. Для достижения этой цели необходимо установить и придерживаться новых правил взаимодействия между основными участниками строительного проекта, такими как заказчик, проектировщик и подрядчик. Новые правила также должны быть пересмотрены для объединения участников в единую команду и определения общей цели — реализации строительного проекта в условиях ограничений по времени и ресурсам. Это способствовало бы ясному осознанию значимости и роли каждого участника проекта и установлению конструктивных диалогов между ними [15]. Ввиду недостаточного описания подобных правил в нормативной документации с использованием ТИМ на всех этапах жизненного цикла, низкого уровня распространения технологии информационного моделирования в практике на этапе строительства, цели у участников строительного проекта остаются разрозненными: для проектировщиков приоритетом является формирование проектной информационной модели и получение положительного заклю-

чения экспертизы, для подрядчиков — выполнение строительно-монтажных работ в необходимом объеме и качестве, сдаче объекта в эксплуатацию в срок.

Предполагается, что с более широким применением ТИМ не только на этапе проектирования, но и этапе строительства повысится эффективность как организационно-технологической системы, так и в целом СУСП, а также увеличатся шансы сплотить участников строительного проекта в команду. С переходом на этап строительства следует разрабатывать и применять СИМ [13].

Строительная информационная модель формируется из набора связанных цифровых моделей и электронных документов. Помимо 4D-модели, которую еще можно назвать строительной цифровой информационной моделью, в состав СИМ входят: совокупность моделей обеспечения ресурсами, записи строительного производства, строительное представление цифровых информационных моделей (как цифровой модели объекта, так и местности), укрупненно отражающее выбранную технологию строительного производства [13]. Использование одного или нескольких видов ПО, подходящих для формирования СИМ, способно наиболее полно дать ответы на совокупность вопросов, появляющихся в процессах планирования и организации строительного производства, управления его реализацией. При наличии актуальной и более полной информации, сведенной в единой СИМ и дополняемой в ходе строительства, вероятность выработки рациональных оперативных управленческих решений в строительном производстве станет выше [18]. Кроме того, наличие случайных и непредвиденных факторов в строительстве требует применения новых подходов к повышению эффективности системы управления строительным производством.

Таким образом, научная гипотеза исследования — повышение эффективности СУСП

за счет применения СИМ как элемента ТИМ и единого источника информации для принятия организационно-технологических решений.

Целью работы является оценка влияния СИМ на эффективность СУСП.

Методы

В качестве методов исследования применялись системный анализ и метод экспертных оценок. Для проведения исследования автором была выбрана группа из 15 экспертов, включающая представителей заказчика, генерального подрядчика, ВМ/ТИМ консультантов/экспертов с практическим опытом работы в строительной отрасли и достаточными знаниями в области ТИМ.

Метод осуществлялся анонимно через мессенджеры/электронную почту путем отправки заранее сформированного шаблона таблицы, включающего перечень параметров СУСП с их описанием, а также пустые ячейки для заполнения значений весовых коэффициентов и параметров для двух типов систем управления: классической и с применением СИМ. Каждый член экспертной группы заполнял свою копию таблицы и отправлял ее обратно. Выбор такого метода был обоснован оперативностью и низкими затратами на проведение исследования.

Величины весовых коэффициентов $k_{в,i}$, параметров $X_{норм,i}$ и форму зависимости назначали из следующих соображений:

- сумма весовых коэффициентов должна составлять 1 ($\sum_{i=1}^5 k_{в,i} = 1$);
- значение параметра должно находиться в интервале от 0 до 1 ($0 < X_{норм,i} \leq 1$);
- прямая зависимость — чем больше значение параметра (например, надежность), тем лучше.

Автор, рассматривая СУСП как сложную систему, состоящую из взаимосвязанных элементов, определил пять параметров, которые считал наиболее важными: согласованность, гибкость, адаптивность, оператив-

ность, надежность. Под этими параметрами подразумеваются следующие определения:

1) согласованность — способность элементов системы управления обрабатывать и вырабатывать однозначные и непротиворечивые решения, направленные на достижение единой цели;

2) гибкость — способность системы управления не распадаться при значительном изменении условий существования;

3) адаптивность — способность системы управления приспосабливаться к изменениям внешней среды;

4) оперативность — способность системы управления быстро реагировать и вырабатывать решения;

5) надежность — свойство системы управления сохранять полную работоспособность в течение заданного промежутка времени.

Результаты были получены от 12 членов экспертной группы. После получения результатов проводилась их статистическая обработка: определялись среднеарифметические значения весовых коэффициентов

$$(k_{в,i} = \frac{\sum_{j=1}^{12} k_{в,i,j}}{12})$$

и нормированных параметров

$$(X_{норм,i} = \frac{\sum_{j=1}^{12} X_{i,j}}{12}),$$

определялась величина интегрального критерия в первом приближении из перечня выбранных параметров элементов, исходя из их значимости.

Интегральный параметр определялся для двух типов систем управления:

1) применяющей СИМ как единую цифровую среду/платформу аппарата управления строительного производства и элемент технологии информационного моделирования;

2) классической, не применяющей СИМ.

Под аппаратом управления строительным производством в работе понимается орга-

низационная структура и функциональная система, включающая в себя руководителей, специалистов и сотрудников отделов и служб строительной организации, которые участвуют в управлении и контроле строительного производства. К составу аппарата управления строительного производства можно отнести: руководителя проекта, главного инженера, отдел планирования и организации работ, отдел снабжения и закупок, отдел технического надзора и контроля, отдел управления персоналом, финансовый и плановый отделы, отдел безопасности и охраны труда и др.

Вычисление интегрального параметра производилось суммированием произведенных значений параметров на соответствующие весовые коэффициенты: $\sum_{i=1}^5 X_{\text{норм},i} \cdot k_{в,i}$, где $X_{\text{норм},i}$ — i -й нормированный параметр, $k_{в,i}$ — i -й весовой коэффициент.

Результаты и обсуждение

Применение ТИМ и получение больших преимуществ от ее использования требует не только установки соответствующего ПО и обучения персонала, но и изменения формы и связи взаимодействий между основными участниками инвестиционно-строительного проекта [19, 20]. Помимо этого, применение ТИМ потребует изменений в системе управления отдельных организаций, например, аппарат управления строительного производства должен будет предусматривать не иерархическую схему связей между отделами, службами, сотрудниками, а смешанную центричную, где в центре располагается ситуационно-моделирующий центр (СМЦ), с которого производится непрерывное управление строительным производством на основе СИМ [13]. Таким образом, помимо изменения схемы связей между элементами системы управления с применением ТИМ, следует скорректировать режим управления с дискретного (еженедельные штабы/совещания) на непрерывный.

При различных обстоятельствах СМЦ может быть организован как в офисе, так и на строительной площадке, причем второй вариант представляется более эффективным. СМЦ представляет собой помещение, оснащенное необходимыми для работы современной технической аппаратурой, персональными компьютерами, специализированными видами ПО, а также средствами связи и диспетчеризации. Применяемое ПО должно позволять просматривать, корректировать, дополнять атрибутами СИМ. Требуется применение больших мониторов (с диагональю более 24 дюймов) и проектора для наглядного рассмотрения СИМ участниками проекта в одном «окне».

В работу СМЦ должны вовлекаться основные участники проекта (заказчик, проектировщик, аппарат управления подрядчика, специализированные строительные и монтажные организации, производители основного оборудования, материалов и конструкций и др.). При ведении оператором единой СИМ в СМЦ, ежедневной выдаче заданий и получении отчетов о выполненных работах со строительной площадки сотрудники аппарата управления строительного производства, службы и отделы будут иметь достоверную и более полную информацию о состоянии как объекта в целом, так и отдельных его конструкций, этапов. Применение единого ПО, содержащего актуальную информацию для управления производством, может уменьшить уровень информационной неопределенности.

Ведение и использование единой СИМ способствует корректировке структурных связей в организации, позволяет улучшить характеристики управляющей системы, в том числе уменьшить транзакционные издержки между отделами и службами, собрать и проанализировать больше информации, повысить количество и качество согласованной информации между службами, ускорить

Среднеарифметические значения весовых коэффициентов и параметров системы управления

№ п/п	Параметр	Средневзвешенный весовой коэффициент ($k_{в,i}$)*	Среднее значение нормированного параметра ($X_{норм,i}$)*		Величины параметров с учетом весового коэффициента ($X_{норм,i} \cdot k_{в,i}$)*	
			при классической системе управления	при системе управления, применяющей СИМ	при классической системе управления	при системе управления, применяющей СИМ
1	Согласованность	0,25	0,84	1	0,21	0,25
2	Гибкость	0,2	0,75	0,9	0,15	0,18
3	Адаптивность	0,1	0,8	1	0,08	0,1
4	Оперативность	0,2	0,7	0,85	0,14	0,17
5	Надежность	0,25	0,72	1	0,18	0,25

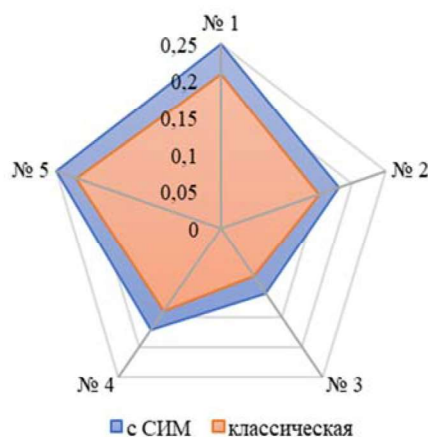
Примечание: *нумерация параметров в таблице соответствует порядковому номеру i .

принятие решений и повысить организационную надежность.

В таблице приведены средние арифметические значения весовых коэффициентов и нормированных параметров, а также величины параметров с учетом их веса, которые получил автор в результате статистической обработки данных экспертов.

На рисунке представлены значения рассматриваемых параметров с учетом их весового коэффициента $(X_{норм,i} \cdot k_{в,i}) \cdot 5$.

Интегральные параметры $(\sum_{i=1} X_{норм,i} \cdot k_{в,i})$ показали следующие значения: при системе управления с использованием СИМ — 0,95



Значения нормированных параметров с учетом весовых коэффициентов $(X_{норм,i} \cdot k_{в,i})$.
Нумерация параметров (№ 1–5) соответствует нумерации, приведенной в таблице

(100 %), при классической системе управления — 0,76 (80 %), что в целом свидетельствует о повышении эффективности СУСП при внедрении технологии информационного моделирования.

Таким образом, выдвинутое предположение о повышении эффективности СУСП с применением СИМ оправдалось.

Выводы

1. Установлено, что применение технологии информационного моделирования на этапе строительства требует введения строительной информационной модели в ситуационно-моделирующем центре и смены режима управления с дискретного на непрерывный.

2. Предложена структура аппарата управления строительным производством с применением строительной информационной модели, отличающаяся схемой связей и описываемая как смешанная центричная, где в центре располагается ситуационно-моделирующий центр.

3. Методом экспертных оценок установлено, что смена режима управления и изменения структуры связей аппарата управления строительным производством с применением строительной информационной модели позволят повысить интегральный параметр системы управления строительного произ-

водства, косвенно отображающий повышение ее эффективности.

Библиографический список

1. Гусев Е. В. Некоторые аспекты повышения надежности управленческих решений в строительстве // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2020. Т. 20, № 3. С. 123–128. DOI: 10.14529/ctcr200313
2. Болотин С. А., Биче-Оол Х. В., Бохан Х. А., Хурейни Н. К. Р. Прикладные аспекты энтропийного показателя оценки актуального графика строительства // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 4 (93). С. 65–72. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-4-65-72
3. Никоноров С. В., Мельник А. А. Повышение организационно-технологической надежности строительства в современных условиях // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2019. Т. 19, № 3. С. 19–23. DOI: 10.14529/build190303
4. Саитгараев А. Ф. Информационное моделирование зданий как инструмент оперативного управления ходом строительного процесса // Вестник университета. 2017. № 7–8. С. 51–56.
5. Великороссов В. В., Филин С. А., Речинский А. В., Черненькая Л. В., Черненький А. В. Снижение неопределенности при принятии стратегических управленческих решений в условиях цифровой трансформации // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. тр. XXIV Междунар. науч. и уч.-практ. конф. В 3 ч. Ч. 1; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. СПб., 2020. С. 287–293.
6. Липидус А. А., Сафарян Г. Б. Организационно-технологическая надежность производственно-логистических процессов в строительстве // Наука и бизнес. 2019. № 3 (93). С. 148–152.
7. Липидус А. А. Формирование организационно-технологических платформ в строительстве // Строительное производство. 2022. № 1. С. 2–6. DOI: 10.54950/26585340_2022_1_2
8. Коклюгина Л. А., Коклюгин А. В. К вопросу о разработке организационно-технологической документации // Известия КГАСУ. 2009. № 1 (11). С. 318–321.
9. 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
10. Богданов А. Н., Алешутин И. А. Наземное лазерное сканирование в строительстве и BIM-технологиях // Известия КГАСУ. 2018. № 4 (46). С. 326–332.

11. Гинзбург А. В. Информационная модель жизненного цикла строительного объекта // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 9. С. 61–65.
12. Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В., Бурлаченко А. О., Плешаков В. В. Возможности цифровых технологий для каждого этапа жизненного цикла строительной системы // Вестник Волгоградского гос. арх.-строит. ун-та. Серия: Строительство и архитектура. 2022. № 2 (87). С. 317–325.
13. Пименов С. И. Строительная информационная модель // Construction and Geotechnics. 2022. Т. 13, № 3. С. 72–84. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.3.07
14. 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. Vol. 20, № 2. Pp. 155–166. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.09.014
15. 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
16. 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.: СПбГАСУ, 2020. С. 81–87.
17. 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.
18. Болотин С. А., Дадаев А. Х., Магамадов Р. А. Энтропия актуального графика строительства // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 123–129.
19. 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.
20. Пименов С. И. Состояние и перспективы многоуровневой системы планирования строительных проектов в условиях цифровой трансформации // Construction and Geotechnics. 2022. Т. 13, № 2. С. 55–66. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.2.05

References

1. Gusev E. V. *Nekotorye aspekty povysheniya nadezhnosti upravlencheskikh resheniy v stroitel'stve* [Some aspects of improving the reliability of management decisions in construction]. *Vestnik YuUrGU. Seriya «Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie,*

radioelektronika» – *Bulletin of SUSU. Series “Computer technologies, control, radio electronics”*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 123–128. DOI: 10.14529/ctcr200313

2. Bolotin S. A., Biche-Ool Kh. V., Bokhan Kh. A., Khureyni N. K. R. *Prikladnye aspekty entropiynogo pokazatelya otsenki aktual'nogo grafika stroitel'stva* [Applied aspects of the entropy indicator of the assessment of the current construction schedule]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2022, no. 4 (93), pp. 65–72. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-4-65-72

3. Nikonorov S. V., Mel'nik A. A. *Povyshenie organizatsionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti stroitel'stva v sovremennykh usloviyakh* [Improvement of organizational and technological reliability of construction in modern conditions]. *Vestnik YuUrGU. Seriya Stroitel'stvo i arkhitektura – Bulletin of SUSU. Construction and Architecture Series*, 2019, vol. 19, no. 3, pp. 19–23. DOI: 10.14529/build190303

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

5. Velikorossov V. V., Filin S. A., Rechinskiy A. V., Chernen'kaya L. V., Chernen'kiy A. V. *Snizhenie neopredelennosti pri prinyatii strategicheskikh upravlencheskikh resheniy v usloviyakh tsifrovoy transformatsii* [Reducing uncertainty in making strategic management decisions in a digital transformation]. *Trudy XXIV Mezhdunarodnoy nauchnoy i uchebno-prakticheskoy konferentsii «Sistemniy analiz v proektirovanii i upravlenii»* [Proceedings of the XXIV International Scientific and Educational Conference “System Analysis in Design and Management”]. In 3 Pts. Pt. 1. St. Petersburg, Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskii universitet Petra Velikogo Publ., 2020, pp. 287–293.

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

7. Lapidus A. A. *Formirovanie organizatsionno-tekhnologicheskikh platform v stroitel'stve* [Formation of organizational and technological platforms in construction]. *Stroitel'noe proizvodstvo – Construction Production*, 2022, no. 1, pp. 2–6. DOI: 10.54950/26585340_2022_1_2

8. Koklyugina L. A., Koklyugin A. V. *K voprosu o razrabotke organizatsionno-tekhnologicheskoy dokumentatsii* [On the development of organizational and technological documentation]. *Izvestiya KGASU – Bulletin of KGASU*, 2009, no. 1 (11), pp. 318–321.

9. Travush V. I. *Tsifrovye tekhnologii v stroitel'stve* [Digital technologies in construction]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo – Academia. Architecture and Construction*, 2018, no. 3, pp. 107–117. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117

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

11. Ginzburg A. V. *Informatsionnaya model' zhiznennogo tsikla stroitel'nogo ob'ekta* [Information model of the life cycle of the construction facility]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and Civil Engineering*, 2016, no. 9, pp. 61–65.

12. Abramyan S. G., et al. *Vozможности tsifrovyykh tekhnologiy dlya kazhdogo etapa zhiznennogo tsikla stroitel'noy sistemy* [Opportunities of digital technologies for each stage of the life cycle of the construction system]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura – Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*, 2022, no. 2(87), pp. 317–325.

13. Pimenov S. I. *Stroitel'naya informatsionnaya model'* [Construction information model]. *Construction and Geotechnics*, 2022. Vol. 13, no. 3, pp. 72–84. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.3.07

14. 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, vol. 20, no. 2, pp. 155–166. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.09.014

15. Pimenov S. I. *Analiz sovremennykh programmnykh kompleksov dlya virtual'nogo stroitel'stva (4D-modelirovaniya)* [Analysis of modern software systems for virtual construction (4D modeling)]. *Nauchniy zhurnal stroitel'stva i arkhitektury – Scientific Journal of Construction and Architecture*, 2022, no. 3, pp. 92–104. DOI: 10.36622/VSTU.2022.67.3.009

16. Bovteev S. V. *Primenenie 4D-modelirovaniya v tselyakh povysheniya effektivnosti kalendar'nogo planirovaniya stroitel'stva* [The use of 4D modeling in order to increase the efficiency of construction scheduling]. *Trudy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf «BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury»* [Proceedings of the III International. scientific-practical. conf “BIM modeling in construction and architecture tasks”]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2020, pp. 81–87.

17. 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.

18. Bolotin S. A., Dadar A. Kh., Magamadov R. A. *Entropiya aktual'nogo grafika stroitel'stva* [Entropy of the currently used construction schedule]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 3 (56), pp. 123–129.

19. Bovteev S. V. *Praktika primeneniya 4D-modelirovaniya v stroitel'stve* [Practice of applying 4D modeling in construction]. *Trudy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury»* [Trudy Proceedings

of the IV International scientific and practical conference “BIM Modeling in Construction and Architecture Tasks”]. Ed. by Semenov A. A. St. Petersburg, 2021, pp. 77–84.

20. Pimenov S. I. *Sostoyanie i perspektivy mnogourovnevnoy sistemy planirovaniya stroitel'nykh proektov v usloviyakh tsifrovoy transformatsii* [The state and prospects of a multi-level planning system for construction projects in the context of digital transformation]. *Construction and Geoengineering*, 2022, vol. 13, no. 2, pp. 55–66. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.2.05