
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

SECTION OF SCIENTIFIC METHODOLOGY

Известия вузов. Строительство. 2022. № 10. С. 64–75.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (10): 64–75.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 69.003:658.387

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-64-75

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОТДЕЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Вадим Николаевич Кабанов

Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена мировая практика информационного моделирования строительных процессов. Предложены принципы построения информационной модели отдельного строительного процесса, выделенного из системы календарного или сетевого графика создания строительной продукции. Определены особенности технологических процессов производства строительно-монтажных работ в зависимости от уровня механизации. Приведена классификация технологических процессов по критерию «степень механизации». Доказана необходимость применения фронта работ в качестве основного элемента информационной модели отдельного строительного процесса. Разработана структура информационной модели отдельного строительного процесса, которая представляет собой: источник исходных данных, вычислительный аппарат и описание результата. Определены границы применения информационной модели отдельного строительного процесса. Показаны перспективы научных исследований и особенности информационного моделирования применительно к отдельным строительным процессам.

Ключевые слова: строительный процесс, информационная модель, 4D BIM-модель, фронт работ, объем конструкции, интенсивность производства работ

Для цитирования: Кабанов В.Н. Принципы построения информационной модели отдельного строительного процесса // Известия вузов. Строительство. 2022. № 10. С. 64–75. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-64-75.

Original article

PRINCIPLES OF BUILDING AN INFORMATION MODEL OF A SEPARATE CONSTRUCTION PROCESS

Vadim N. Kabanov

Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia

Abstract. The world practice of construction processes information modeling is considered. The principles of constructing an information model of a separate construction process, isolated from the system of a calendar or network schedule for the creation of construction products, are proposed. The features of technological processes of construction and installation works are highlighted depending on the level of mechanization. The classification of technological processes according to the criterion “degree of mechanization” is given. The necessity of using the work front as the main element of the information model of a separate construction process is proved. The structure of the information model of a separate construction process has been developed, which is: a source of initial data, a computing device and a description of the result. The boundaries of the application of the separate construction process information model are defined. The prospects of scientific research and the features of information modeling applied to individual construction processes are shown.

Keywords: construction process, information model, 4D BIM model, front of work, volume of construction, intensity of work

For citation: Kabanov V.N. Principles of building an information model of a separate construction process. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2022. № 10. С. 64–75. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-64-75.

Введение. Актуальность исследования проблем, связанных с построением цифровой модели строительного процесса, подтверждается особым вниманием со стороны органов государственного управления и научного сообщества. В качестве доказательства следует привести два актуальных документа. Первый – национальная программа «Цифровая экономика», в рамках реализации которой предполагается осуществление проекта «Цифровое государственное управление», предусматривающего создание информационной системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства. Второй – Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РФ на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года, в которой предусмотрен раздел «Х. Цифровая трансформация отрасли строительства и жилищно-коммунального хозяйства» (утв. распоряжением Правительства РФ № 3268-р 31.10.2022 г.).

В российской периодической литературе довольно активно обсуждается необходимость развития информационного моделирования в строительстве. Отмечается приоритетный характер информационного моделирования [1], в первую очередь при разработке архитектурной и конструктивной частей зданий и сооружений [2], в том числе с учетом сложности объектов, которая определяется насыщением атрибутами [3]. Важное значение придается построению 4D BIM-моделей [4], особенно применительно к разделу 6 проектной документации (утв. ПП РФ № 87) в части разработки графика строительства [5].

Единство взглядов органов государственного управления и представителей научного сообщества на проблему информатизации строительства позволяет надеяться, что цифровые модели зданий и сооружений, а также технологических процессов производства строительно-монтажных работ, найдут широкое практическое применение среди проектных и подрядных организаций. Важно обратить внимание, что Россия обладает довольно существенным потенциалом для создания качественных отечественных платформ, на которых могут реализовываться технологии информационного моделирования. Ряд российских программных продуктов [1, 3] способен конкурировать с широко рекламируемыми зарубежными аналогами.

Мировая практика разработки и применения 4D BIM-моделей предлагает довольно широкий выбор направлений для исследований. К числу таких направлений следует относить:

автоматизацию процедур привязки календарного плана строительства к готовой 3D-модели объекта капитального строительства [6], в том числе с применением хорошо известных инструментов логистики [7], а также при условии использования, например, фасетно-иерархического классификатора [8], и вариантового проектирования организационно-технологических решений [9];

оценку рисков и надежность плана возведения объекта капитального строительства [10], в том числе в зависимости от условий строительства [11], в рамках технологии информационного моделирования (ТИМ) [12], включающей сравнение компьютерной модели с результатами трехмерного лазерного сканирования [13];

применение 4D GeoBIM для эффективной расстановки машин и оборудования с учетом действующих требований по их безопасной эксплуатации [14], генерации рабочего пространства [15, 16], а также размещения материалов, конструкций и изделий [17];

построение модели, имитирующей работу отдельных машин и механизмов [18], отдельных строительных процессов [19–22], а также затрат труда при выполнении строительно-монтажных работ [23], в том числе единой информационной базы для организационно-технологического проектирования [24];

представление строительных процессов как киберфизических систем [25, 26], выделение в 4D BIM-модели критического пути [27] и привязка графика заработанной стоимости (EDM) [28];

привязку документального обеспечения процесса строительства зданий и сооружений к 4D BIM-модели [29], включая результаты строительного контроля [30].

К существенному недостатку опубликованных результатов исследований следует отнести отсутствие общего, системного подхода к построению информационных 4D BIM-моделей. Для того чтобы восполнить указанный недостаток, были выполнены настоящие исследования.

В качестве исходных условий 4D BIM-модель рассматривалась как совокупность отдельных информационных моделей, описывающих строительные процессы. Конечно, взаимное расположение отдельных процессов в календарном или сетевом графике может оказывать существенное влияние на

величину риска, который описывает вероятность создания строительной продукции или ее части в сроки, установленные графиком. Однако эта особенность 4D BIM-модели в настоящей работе не изучалась.

Еще одна проблема, которой посвящено довольно много работ по 4D BIM-моделированию, связана с определением эффективной продолжительности совмещения работ в период строительства. Понимая важное значение решения этой проблемы, автор счел возможным не уделять внимания этому вопросу.

В настоящей работе внимание сконцентрировано на моделировании отдельно взятого строительного процесса, который представляет собой один из множества элементов 4D BIM-модели. Другими словами, в работе рассматривается одна элементарная часть календарного или сетевого графика, которая названа отдельным строительным процессом. Такое решение принято исходя из того, что достоверное вычисление продолжительности каждого из отдельных строительных процессов способно обеспечить высокую достоверность вычисления продолжительности строительства здания или сооружения в целом.

Цели и задачи. Цель настоящего исследования состоит в формулировке общих принципов информационного моделирования отдельного строительного процесса. При этом взаимное влияние технологических процессов друг на друга, а также вопросы эффективного совмещения строительно-монтажных работ следует рассматривать отдельно при условии существования моделей каждого отдельного строительного процесса, который участвует в создании объекта капитального строительства.

Для достижения поставленной цели в настоящем исследовании решены следующие научные задачи:

уточнен понятийный аппарат, применяемый при построении информационной модели строительного процесса;

классифицированы строительные процессы по степени механизации технологии выполнения строительно-монтажных работ;

предложена типовая (стандартная) структура информационной модели строительного процесса.

Методы исследования. При выполнении исследований применялись апробированные и хорошо известные методы научных исследований, к их числу относятся анализ и синтез, системный анализ, классификация и кластеризация.

Результаты. Построение цифровой модели для описания последовательности возведения объекта капитального строительства с привязкой к календарному плану принято называть 4D BIM-моделью. В ее основе находится цифровая 3D BIM-модель здания и сооружения. К важной особенности модели следует отнести возможность вычисления пространственных координат для каждой строительной конструкции. Такая привязка объекта капитального строительства в пространстве обеспечивает снижение затрат труда по определению запроектированного и фактического положения фронта работ (или степени готовности частей здания в любой момент времени).

В настоящей работе не рассматриваются вопросы, связанные с построением календарного графика на возвведение всего объекта капитального строительства. Эта тема достаточно хорошо исследована и описана в монографиях и учебных пособиях. Следует заметить, что актуальность изучения принципов и методов построения календарных планов не снизилась. Применение цифровых технологий в значительной степени расширяет возможности исследователей при изучении процедур календарного планирования на стадии проектирования раздела ПОС (раздел 6 ПД), ППР и технологических карт, а также при организации контроля за скоростью (интенсивностью) выполнения строительно-монтажных работ.

При построении 4D BIM-модели важно точно определить основные понятия: график производства работ и календарный план. С целью избежать дискуссии по поводу использования терминов настоящая работа предусматривает определения, приведенные в СП 48. 13330.2019:

п. 3.6: «график производства работ: Инструмент моделирования строительного производства в виде кусочно-постоянных (кусочно-заданных) функций, изображающих на временной шкале последовательность и сроки выполнения работ с максимально возможным их совмещением (линейная диаграмма Ганта)»;

п. 3.16: «календарный план работ: График производства работ с осуществленной привязкой к действующему производственному календарю».

Предметом рассмотрения настоящей работы являются принципы построения 4D BIM-модели применительно к одному (отдельному) строительному процессу на стадии проектирования (ППР и технологическая карта), а также организации процедур контроля за интенсивностью выполнения строительно-монтажных работ. Отдельный строительный процесс может представлять собой один или несколько технологических процессов. Например, к отдельным строительным процессам следует относить разработку грунта экскаватором при устройстве котлована с погрузкой в автомобили-самосвалы. В этом случае перевозка грунта в модели не рассматривается. Однако при определении стоимости устройства котлована следует учесть затраты на перемещение грунта. Целесообразно при описании работы экскаватора учитывать характеристики автомобилей-самосвалов, привлекаемых для перевозки грунта.

Многообразие вариантов производства строительно-монтажных работ приводит к необходимости разработки классификации в целях построения информационных моделей строительных процессов. В настоящей работе все строительные процессы классифицируются по критерию, который описывает взаимодействие с основной машиной (средством механизации). На этом основании появляется три группы строительных процессов:

полностью механизированные технологические процессы (например, разработка грунта экскаватором), которые не предусматривают участие рабочих-строителей, а производительность средств механизации не зависит от производительности рабочих-строителей;

частично механизированные технологические процессы (например, монтаж сборных конструкций или укладка бетонной смеси в конструкцию), для которых производительность средств механизации зависит от суммарной

производительности рабочих-строителей и наоборот, что приводит к необходимости вычисления мощности (интенсивности) строительного процесса с учетом производительности машин и рабочих-строителей;

ручные технологические процессы (например, устройство перегородок из гипсокартона на металлическом или деревянном каркасе), которые не предусматривают участие строительных машин непосредственно при выполнении работ (участие машин возможно на стадии выполнения подготовительных работ, связанных с обеспечением строительными материалами, конструкциями и изделиями), а интенсивность производства работ представляет собой суммарную производительность рабочих-строителей.

Каждая из перечисленных групп строительных процессов отличается правилом определения продолжительности производства работ, следовательно, требует отдельного описания для построения информационной модели. Указанные отличия не исключают применения одинаковой стандартной структуры информационной модели строительного процесса. В настоящей работе рассматриваются вопросы моделирования не только продолжительности производства строительно-монтажных работ, но и привязки фронта работ к любому моменту времени, в течение которого выполняются работы по возведению конструкции. Исходя из этого, целесообразно привести определение понятия «фронт работ» из п. 3.55 СП 48. 13330.2019: «Фронт работ: Часть строящегося объекта, необходимая для размещения определенного числа рабочих со средствами труда, последующего выполнения строительно-монтажных работ на выделенном объеме в соответствии с заданной технологией и определяемая по расчетам в организационно-технологической документации (делянки, захватки, ярусы)».

К числу важных условий при определении фронта работ следует относить:

количество технологических стоянок средств механизации, а также объем работ, выполняемый на каждой из таких стоянок;

объем работ, выполняемый рабочими-строителями в единицу времени (в большинстве случаев при определении фронта работ используется единица времени одна смена);

продолжительность одного технологического цикла строительной машины;

количество ярусов (этажей) объекта капитального строительства.

Продолжительность производства строительно-монтажных работ зависит от интенсивности выполнения работ, а также объема строительной конструкции, который определен проектом. При этом продолжительность (время) прямо пропорционально зависит от объема работ и обратно пропорционально – от интенсивности (производительности) производства работ. Если объем работ задается проектом или 3D BIM-моделью, то производительность обусловлена количеством ресурсов, привлекаемых для выполнения строительно-монтажных работ.

В зависимости от интенсивности производства работ объект капитального строительства условно разбивается на технологические захватки (фронт работ). Технологическая захватка (фронт работ) может быть строго привязана к координатам в пространстве. Такую привязку не сложно выполнить на

3D BIM-модели объекта капитального строительства. Перемещение фронта работ в пространстве описывается при помощи вычисления соответствующих координат. Скорость перемещения фронта работ зависит от интенсивности строительства (т. е. от количества и качества ресурсов, привлекаемых для выполнения работ).

Таким образом, очевидно, можно зафиксировать стандартную структуру информационной модели строительного процесса, которая состоит из следующих элементов:

объем работ – постоянная величина, задаваемая 3D BIM-моделью объекта капитального строительства, каждая точка строительной конструкции описывается тремя координатами: X_i , Y_i , Z_i ;

продолжительность производства строительно-монтажных работ – фиксированная величина, приведенная в календарном плане строительства (ПОС – раздел 6ПД) или вычисленная для отдельного строительного процесса в зависимости от количества и качества привлекаемых ресурсов (мощности);

координаты фронта работ – величины X_i , Y_i , Z_i , задаваемые 3D BIM-моделью, изменение которых зависит от интенсивности (скорости или производительности) выполнения строительно-монтажных работ;

математическая зависимость, описывающая изменения величин координат фронта работ в зависимости от интенсивности производства строительно-монтажных работ.

При построении информационной модели строительного процесса важное значение имеет область применения. Таких областей может быть три. Первая – применение информационной модели на стадии проектирования (разработки графика производства работ или календарного плана). Вторая – на этапе разработки рабочей организационно-технологической документации (технологических карт и проекта производства работ). Наконец, третья область применения – мониторинг выполнения строительно-монтажных работ по критерию продолжительности.

Если в первой области применения выполняется вычисление продолжительности производства строительно-монтажных работ, которая соответствует выбранному технологическому (средства механизации и технологическая оснастка) и организационному (продолжительность смены, количество смен в сутках, количество тождественных, одновременно функционирующих потоков, выбор последовательного, параллельного или поточного метода) решению, то для второй области величина продолжительности задается графиком производства работ (изменение продолжительности в сторону увеличения относится к нежелательным проектным решениям), а также устанавливается технология, имеющая соответствующий номер таблицы ГЭСН или ссылку на результаты индивидуального нормирования, выполненные проектной или подрядной организацией. Под мониторингом (третья область применения модели) в настоящей работе понимается вычисление отклонений строительного процесса от траектории, задаваемой проектным решением (графиком производства работ из раздела 6 ПД и рабочей документации).

Выводы. На основании описанных результатов исследования следует констатировать решение поставленных задач, которое является основанием для вывода о достижении поставленной цели. К наиболее значимым научным и практическим результатам следует относить принципы построения информационной модели отдельного строительного процесса, к числу которых относятся:

1. Построение информационной модели строительного процесса обладает существенными отличиями для полностью механизированных, частично механизированных строительных процессов, а также технологий, выполняемых вручную при помощи ручного электрического инструмента.

2. Принимая во внимание, что любая информационная модель состоит из трех частей: первая – исходные данные, вторая – вычислительный аппарат, третья – результат, получена типовая структура информационной модели строительного процесса, в которой каждая часть представляется как:

исходные данные – объем работ (объем возводимой строительной конструкции или ее части), получаемый из 3D BIM-модели, интенсивность (скорость) выполнения строительно-монтажных работ, задаваемая нормативами, приведенными в сборниках ГЭСН, определение начальных и конечных координат фронта работ, продолжительность выполнения работ;

вычислительный аппарат представляет собой математическую зависимость, которая описывает изменение координат, характеризующих фронт работ в зависимости от времени (или в любой момент времени);

результат – положение в пространстве фронта работ в любой момент времени, определяемый начальным моментом, для которого время равно нулю и заканчивается временем, равным продолжительности производства работ, которое установлено проектом.

3. Приведенные принципы построения информационной модели отдельного строительного процесса предназначены для описания одной технологии производства строительно-монтажных работ и не учитывают взаимное влияние одновременно функционирующих процессов строительства, а также не могут применяться для оценки эффективности величины совмещения работ при построении календарного плана.

4. Перспективы исследования процедур построения информационной модели строительного процесса автор связывает с необходимостью включения в модель работ по контролю качества. Под контролем качества здесь понимается входной контроль проектной документации, материалов, конструкций и изделий, контроль соблюдения технологических режимов в процессе функционирования строительного процесса, контроль соответствия готовой строительной продукции требованиям технических регламентов.

Список источников

1. Нечипорук Я., Башкова Р. Краткий обзор 4D моделирования в строительстве // Архитектура. Строительство. Образование. 2020. № 1. С. 35–42.
2. Доронин В.Ю., Матюшкин Д.Н. Внедрение 4D моделирования в практику деятельности строительной организации // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2022. № 3, ч. 2. С. 42–45.

3. Пименов С.И. Анализ современных программных комплексов для виртуального строительства (4D-моделирования) // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. № 3. С. 92–104.
4. Матвеева М.В., Адегбала А.А. К вопросу организации процессов 4D-моделирования и управления ими в строительстве // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. № 2. С. 190–195.
5. Познахирко Т.Ю., Топчий Д.В. Особенности внедрения BIM в процесс разработки проектной документации // Строительное производство. 2020. № 1. С. 69–72.
6. Doukari O., Seck B., Greenwood D. The creation of construction schedules in 4D BIM: A comparison of conventional and automated approaches // Buildings. 2022. Vol. 12, no. 8. AN 1145.
7. Whitlock K., Abanda F.H., Manjia M.B., Pettang C., Nkeng G.E. 4D BIM for construction logistics management // Civil Eng. 2021. Vol. 2, no. 2. P. 325–348.
8. Каракозова И.В., Малыха Г.Г., Куликова Е.Н., Павлов А.С., Панин А.С. Организационное сопровождение BIM-технологий // Вестник МГСУ. 2019. № 12. С. 1628–1637.
9. Экба С.И. Выбор параметров организационно-технологических решений этапов жизненного цикла объектов жилищного строительства // Строительное производство. 2021. № 4. С. 79–84.
10. Crowther J., Ajayi S.O. Impacts of 4D BIM on construction project performance // International Journal of Construction Management. 2021. Vol. 21, no. 7. P. 724–737.
11. Синенко С.А., Дорошин И.Н., Гергоков И.Х. Обобщение опыта выбора организационно-технологических решений при возведении зданий // Инженерный вестник Дона. 2020. № 12. С. 573–588.
12. Дмитриев А.Н., Владимирова И.Л. Технологии информационного моделирования в управлении строительными проектами // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 10. С. 48–59.
13. Остренин А. Качественное монтажное проектирование на современном уровне // САПР и графика. 2021. № 6. С. 10–14.
14. Huaqiu Liu A., Ellul C., Swiderska M. Decision making in the 4th dimension – exploring use cases and technical options for the integration of 4D BIM and GIS during Construction // ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2021. Vol. 10, no. 4. P. 203.
15. Hosny A., Nik-Bakht M., Moselhi O. Physical distancing analytics for construction planning using 4D BIM // Journal of Computing in Civil Engineering. 2022. Vol. 36, no. 4.
16. Кабанов В.Н. Вычисление объема работ на типовой технологической стоянке экскаватора для построения информационной модели // Научный журнал строительства и архитектуры. 2021. № 3. С. 73–82.
17. Manojl A., George C., Varghese H.E., Sabu J., Jacob J. Collaborative development of 4D BIM for a multistoreyed building international research // Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2021. Vol. 08, no. 07.
18. Tak A.N., Taghaddos H., Mousaei A., Bolourani A., Hermann U. BIM-based 4D mobile crane simulation and onsite operation management // Automation in Construction. 2021. Vol. 128.
19. Гайдо А.Н. Информационное моделирование здания (BIM) с учетом технологических параметров при производстве работ нулевого цикла // Жилищное строительство. 2019. № 4. С. 47–55.
20. Пицулев А.А., Блинкова Е.В., Макарова Ш.Н. Повышение качества бетонных работ путем применения полимерных материалов для изготовления индивидуальных опалубочных систем и BIM технологий // Градостроительство и архитектура. 2018. № 3. С. 18–21.

21. Матвеева М.В., Первоченков В.В. Некоторые аспекты организации производственных процессов на этапе строительства жизненного цикла объекта капитального строительства (на примере здания с металлическими конструкциями) // Известия вузов. Строительство. 2021. № 12. С. 99–109.
22. Кабанов В.Н. Информационная модель строительного процесса на примере кирпичной кладки // Инженерный вестник Дона. 2021. № 7. С. 377–386.
23. Гаевская З.А., Луговец К.В. Математическое моделирование трудозатрат в строительстве на основе BIM-технологий // Московский экономический журнал. 2021. № 5. С. 545–555.
24. Зеленцов Л.Б., Маилян Л.Д., Акопян Н.Г., Шогенов М.С. Моделирование организационно-технологических процессов в строительстве с использованием современных цифровых технологий // Строительное производство. 2020. № 1. С. 41–44.
25. Титаренко Б.П., Жеглова Ю.Г. Киберфизические системы в строительстве // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 11. С. 88–91.
26. Чельшков П.Д. Аспекты автоматизированного проектирования киберфизических строительных систем // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 9. С. 21–27.
27. Truman S.T., Husin A.E. Key success factors for critical chain project management (CCPM) and 4D building information modeling (BIM) for improving time performance in basement work on 5 layers of high-rise residential buildings in Indonesia // International Journal of Engineering Research and Advanced Technology (IJERAT). 2021. Vol. 7, no. 4.
28. Ayman H.M., Mahfouz S.Y., Alhady A. Integrated EDM and 4D BIM-based decision support system for construction projects control // Buildings. 2022. Vol. 12, no. 3. P. 315.
29. Majeed H.R., Hatem W.A., Jasim N.A. Using 4D BIM model in documentation of construction projects as case study in Iraq // Design Engineering. 2021. No. 7. P. 8347–8361.
30. Лапидус А.А., Янь Ц. Анализ международного опыта внедрения BIM технологии строительного контроля высотного строительства // Строительное производство. 2022. № 2. С. 46–51.

References

1. Nechiporuk Ya., Bashkova R. A brief overview of 4D modeling in construction. *Arkhitektura. Stroitel'stvo. Obrazovaniye = Architecture. Construction. Education.* 2020; (1): 35–42. (In Russ.).
2. Doronin V.Yu., Matyushkin D.N. Introduction of 4D modeling into the practice of a construction organization. *Mezhdunarodnyy zhurnal informatsionnykh tekhnologiy i energoeffektivnosti = International Journal of Information Technology and Energy Efficiency.* 2022; (3): 42–45. (In Russ.).
3. Pimenov S.I. Analysis of modern software complexes for virtual construction (4D modeling). *Nauchnyy zhurnal stroitel'stva i arkhitekturny = Scientific Journal of Construction and Architecture.* 2022; (3): 92–104. (In Russ.).
4. Matveeva M.V., Adegbola A.A. On the issue of organization of 4D modeling processes and their management in construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedyzhimost' = Izvestiya vuzov. Investment. Construction. Realty.* 2022; (2): 190–195. (In Russ.).
5. Poznakhirkо T.Yu., Topchiy D.V. Features of BIM implementation in the process of project documentation development. *Stroitel'noye proizvodstvo = Construction production.* 2020; (1): 69–72. (In Russ.).

6. Doukari O., Seck B., Greenwood D. The creation of construction schedules in 4D BIM: A comparison of conventional and automated approaches. *Buildings*. 2022; 12(8): AN 1145.
7. Whitlock K., Abanda F.H., Manjia M.B., Pettang C., Nkeng G.E. 4D BIM for construction logistics management. *Civil Eng.* 2021; 2(2): 325–348.
8. Karakozova I.V., Malykha G.G., Kulikova E.N., Pavlov A.S., Panin A.S. Organizational support of BIM technologies. *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*. 2019; (12): 1628–1637. (In Russ.).
9. Ekba S.I. Selection of parameters of organizational and technological solutions of the stages of the life cycle of housing construction objects. *Stroitel'noye proizvodstvo = Construction production*. 2021; (4): 79–84. (In Russ.).
10. Crowther J., Ajayi S.O. Impacts of 4D BIM on construction project performance. *International Journal of Construction Management*. 2021; 21(7): 724–737.
11. Sinchenko S.A., Doroshin I.N., Gergokov I.H. Generalization of the experience of choosing organizational and technological solutions for the construction of buildings. *Inzhenernyy vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don*. 2020; (12): 573–588. (In Russ.).
12. Dmitriev A.N., Vladimirova I.L. Information modeling technologies in construction project management. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo = Industrial and civil construction*. 2019; (10): 48–59. (In Russ.).
13. Ostrenin A. High-quality installation design at the modern level. *SAPR i grafika = CAD and graphics*. 2021; (6): 10–14. (In Russ.).
14. Huaqiu Liu A., Ellul C., Swiderska M. Decision making in the 4th dimension – exploring use cases and technical options for the integration of 4D BIM and GIS during construction. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2021; 10(4): 203.
15. Hosny A., Nik-Bakht M., Moselhi O. Physical distancing analytics for construction planning using 4D BIM. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2022; 36(4).
16. Kabanov V.N. Calculation of the scope of work on a typical technological excavator parking lot for building an information model. *Nauchnyy zhurnal stroitel'stva i arkhitektury = Scientific Journal of Construction and Architecture*. 2021; (3): 73–82. (In Russ.).
17. Manojl A., George C., Varghese H.E., Sabu J., Jacob J. Collaborative development of 4D BIM for a multistoreyed building International research. *Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2021; 08(07).
18. Tak A.N., Taghaddos H., Mousaei A., Bolourani A., Hermann U. BIM-based 4D mobile crane simulation and onsite operation management. *Automation in Construction*. 2021; (128).
19. Gaydo A.N. Building information modeling (BIM) taking into account technological parameters in the production of zero-cycle works. *Zhilishchnoye stroitel'stvo = Residential construction*. 2019; (4): 47–55. (In Russ.).
20. Pishchulev A.A., Blinkova E.V., Makarova Sh.N. Improving the quality of concrete works by using polymer materials for the manufacture of individual formwork systems and BIM technologies. *Gradosstroitel'stvo i arkhitektura = Urban Planning and Architecture*. 2018; (3): 18–21. (In Russ.).
21. Matveeva M.V., Petrochenkov V.V. Some aspects of the organization of production processes at the construction stage of the life cycle of a capital construction object (on the example of a building with metal structures). *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021; (12): 99–109. (In Russ.).
22. Kabanov V.N. Information model of the construction process on the example of brickwork. *Inzhenernyy vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don*. 2021; (7): 377–386. (In Russ.).

23. Gaevskaya Z.A., Lugovets K.V. Mathematical modeling of labor costs in construction based on BIM technologies. *Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal = Moscow Economic Journal*. 2021; (5): 545–555. (In Russ.).
24. Zelentsov L.B., Mailyan L.D., Akopyan N.G., Shogenov M.S. Modeling of organizational and technological processes in construction using modern digital technologies. *Stroitel'noye proizvodstvo = Construction production*. 2020; (1): 41–44. (In Russ.).
25. Titarenko B.P., Zheglova Yu.G. Cyberphysical systems in construction. *Nauka i biznes: puti razvitiya = Science and business: ways of development*. 2018; (11): 88–91. (In Russ.).
26. Chelyshkov P.D. Aspects of computer-aided design of cyberphysical building systems. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo = Industrial and civil construction*. 2018; (9): 21–27. (In Russ.).
27. Truman S.T., Husin A.E. Key success factors for critical chain project management (CCPM) and 4D building information modeling (BIM) for improving time performance in basement work on 5 layers of high-rise residential buildings in Indonesia. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology (IJERAT)*. 2021; 7(4).
28. Ayman H.M., Mahfouz S.Y., Alhady A. Integrated EDM and 4D BIM-based decision support system for construction projects control. *Buildings*. 2022; 12(3): 315.
29. Majeed H.R., Hatem W.A., Jasim N.A. Using 4D BIM model in documentation of construction projects as case study in Iraq. *Design Engineering*. 2021; (7): 8347–8361.
30. Lapidus A.A., Yan Ts. Analysis of international experience in the implementation of BIM technology of construction control of high-rise construction. *Stroitel'noye proizvodstvo = Construction production*. 2022; (2): 46–51. (In Russ.).

Информация об авторе

В.Н. Кабанов – доктор экономических наук, профессор, kabanovvn@yandex.ru

Information about the author

V.N. Kabanov – DSc, Professor, kabanovvn@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 21.08.2022

The article was submitted 21.08.2022

Одобрена после рецензирования 20.09.2022

Approved after reviewing 20.09.2022

Принята к публикации 27.09.2022

Accepted for publication 27.09.2022