

УДК 626-315.3

Качаев Александр Евгеньевич, канд. техн. наук,
научный сотрудник, ФГБНУ ВНИИ «Радуга»,

Брыль Сергей Валерьевич, канд. техн. наук,
ученый секретарь, ФГБНУ ВНИИ «Радуга»

ВОЗМОЖНОСТИ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация: В статье представлены методы и примеры использования технологий информационного моделирования при обследовании гидротехнических сооружений с целью их дальнейшего ремонта или реконструкции. BIM-технологии позволяют в процессе работы с объектом гидротехнического назначения создавать их цифровых двойников, рассчитывать их характеристики прочности и устойчивости на местности, в которой они расположены. С помощью возможностей BIM-технологий при обследовании ГТС можно имитировать различные условия эксплуатации объектов, моделировать различные технологические процессы, которые происходят в грунтах, на которых расположен объект, в теле плотины, в объеме вспомогательных сооружений и оборудовании.

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, информационное моделирование, цифровой двойник, плотина, жизненный цикл объекта, капитальное строительство.

Kachaev Alexander Evgenievich, Ph.D. in Engineering,
research fellow, Federal State Budgetary Scientific Institution
All-Russian Research Institute "Raduga",

Bryl Sergey Valerievich, Ph.D. in Engineering,
Academic Secretary, Federal State Budgetary Scientific Institution
All-Russian Research Institute "Raduga"

POSSIBILITIES OF BIM-TECHNOLOGIES IN INSPECTION OF HYDRAULIC STRUCTURES

Abstract: The article presents methods and examples of using information modeling technologies when examining hydraulic structures for the purpose of their subsequent repair or reconstruction. BIM technologies allow creating digital twins of hydraulic structures in the process of working with them, calculating their strength and stability characteristics on the terrain in which they are located. Using the capabilities of BIM technologies, when examining hydraulic structures, it is possible to simulate various operating conditions of objects, model various technological processes that occur in the thickness of the soils on which the object is located, in the dam body, in the volume of auxiliary structures and equipment.

Keywords: hydraulic structure, information modeling, digital twin, dam, life cycle of an object, capital construction.

Введение. Информационное моделирование объектов капитального строительства (BIM) радикально трансформирует процессы проектирования, возведения и управления объектами. Применение BIM-технологий в строительной отрасли направлено не только на проектирование и возведение объектов капитального строительства, но и может быть использовано при проведении обследований объектов с целью их дальнейшего капитального ремонта или реконструкции [1].

Информационное моделирование объектов в рамках концепции BIM обеспечивает разработку и создание цифрового двойника объекта, содержащего информационные данные о его параметрических особенностях и размерах, свойствах строительных материалов, используемых при возведении (или ремонте), а также установленных на объекте различных инженерных системах (насосные станции, гидрозатворы и др.). Такая цифровая модель объекта, аккумулирующая структурированные данные различного уровня, на протяжении всего жизненного цикла объекта капитального строительства будет являться источником информации, необходимой для его эксплуатации, ремонта или последующей реконструкции [2, 3].

Профессиональное применение современных информационных технологий в строительстве существенно меняет подходы к эксплуатации гидротехнических сооружений, их обследованию и возможной

реконструкции(или сносу). Информационное моделирование объектов гидротехнического строительства позволяет для уже существующих сооружений оптимально разрабатывать мероприятия по их реконструкции и техническому поддержанию, а для вновь проектируемых и строящихся определять их эксплуатацию во времени за счет полной информации об объекте, особенностях его расположения и рельефа местности [4].

Использование BIM-технологий при обследовании сооружений гидротехнического назначения дает ряд преимуществ [2, 5]:

1. Информация, полученная в результате изыскательских работ и исследований, является всеобъемлющей и предоставляет сведения для наполнения информационной модели объекта в рамках концептуального подхода BIM. Технические возможности современного оборудования (мобильные лазерные сканеры, фотограмметрические измерительные системы) позволяют использовать достоверные и точные данные о геометрических параметрах объектов обследования (сканирования). Полученные данные в дальнейшем преобразуются (интегрируются) в цифровой двойник гидротехнического сооружения.

2. Привлечение к обследованию гидротехнических сооружений технологий информационного моделирования значительно упрощает работу по разработке проектов различного назначения, снижает временные и трудовые затраты на обследование за счет ряда технологических преимуществ: точность отображения полученных данных в цифровом двойнике ГТС, возможность различного анализа напряженно-деформированного состояния объекта (в том числе и совмещенные расчеты) и др.

3. Для определения мест возможных дефектов и прогрессирующих повреждений на объекте, будь то железобетонные или металлические конструкции (коррозионные проявления, бактериологическое воздействие и др) цифровая модель ГТС дает наглядное представление об объекте в реальном времени.

4. Сформированная в цифровом двойнике информация о ГТС имеет возможность интеграции с геоинформационными системами и системами управления (эксплуатацией) объекта гидротехнического назначения.

Целью настоящего исследования является определение и анализ существующих методов в технологиях BIM для обследования ГТС с возможностью управления их жизненным циклом. Такая целевая постановка позволит для уже существующих ГТС выявлять прогрессирующие проблемные стороны с возможным комплексом мероприятий по их устранению, а для проектируемых ГТС создавать их полные информационные модели, учитывающие возможные проблемные стороны во время жизненного цикла.

Методы обследования ГТС. Для создания информационной модели гидротехнических объектов после (или во время) обследования применяются разнообразные способы получения данных. Эти способы опираются на возможности систем автоматизированного проектирования (САПР) BIM-технологий, а существующие методики обследования зданий и сооружений в строительной отрасли дополняют перечень мероприятий по данному направлению исследований [5, 6].

Одним из распространенных методов сбора информации о строительном объекте в виде облака точек или визуального обследования является сканирование объекта гидротехнического назначения с помощью мобильной лазерной установки. Технические возможности сканеров, основанных на передаче геометрической информации с помощью лазерных технологий, с высокой точностью и реалистичной детализацией фиксируют параметрические характеристики объекта, формируют тем самым информацию о нем в виде облака точек, которое в дальнейшем подвергается анализу и созданию цифровой модели рельефа (ЦМР, местности ЦММ).

Техника и технологии лазерного сканирования имеют определенные достоинства. С помощью таких технологий накапливается реалистичная

детализация данных о создаваемом цифровом двойнике объекта, имеется возможность получения размеров объектов сложной геометрии в виде оцифрованной параметрической модели, а также осуществляется оперативный сбор большого объема информации, используемой в дальнейшем в основной информационной модели объекта, создаваемой на этапе проектирования работ, например, по реконструкции ГТС [7, 8].

Не менее популярным способом получения информации об объекте является фотограмметрия. Этот способ представляет собой технологию, использующую последовательность перекрывающихся снимков объекта для построения его трехмерной модели. Специализированные программы обрабатывают эти изображения, выявляя и сопоставляя общие точки на разных фотографиях для создания 3D-модели. Сформированный таким образом подход может быть эффективно интегрирован с технологией лазерного сканирования для расширения объема получаемой информации [9-11].

При разработке информационной модели объекта в виде цифрового двойника ГТС в нее вносятся данные об использованных при строительстве материалах, грунтах, устройстве основания, конструктивных элементах и инженерных системах, обслуживающих ГТС. Для существующих ГТС эти данные указываются в проектной документации, а также могут быть получены путем обследования и иных лабораторных исследований (инженерных изысканий) [12-14].

Сочетание современных методов сбора данных позволяет сформировать комплексную информационную модель сооружения. Информационная модель объекта, или цифровой двойник, используется для дальнейшего анализа и принятия обоснованных решений при проведении его различных видов ремонта или реконструкции. Создание информационной модели объекта на основе данных обследования открывает широкие возможности для анализа и выявления проблем и скрытых дефектов в ГТС [15-18].

Для обнаружения в процессе обследования проблем и поверхностных или скрытых дефектов гидротехнических сооружений применяется визуальное обследование объекта. Имеющаяся или создаваемая информационная модель сооружения демонстрирует текущее внешнее состояние объекта, тем самым облегчает обнаружение видимых дефектов и повреждений конструкций. Такая информация в дальнейшем учитывается при его расчётах и рекомендациях по устранению обнаруженных в процессе визуального обследования дефектов.

Сбора, обработка и анализ полученной, например, с помощью лазерного сканирования, информации об объекте гидротехнического назначения, могут быть использованы для различных инженерных расчетов и компьютерного моделирования технологических процессов, связанных с ГТС. Можно, например, проанализировать напряженно-деформированное состояние конструкций с учетом выявленных дефектов и повреждений, смоделировать воздействие различных нагрузок и определить необходимость усиления или замены отдельных элементов объекта [21].

ВМ-технологии устроены таким образом, что все их возможности опираются на работу специализированных программных средств, позволяющих проектировать, рассчитывать, анализировать отклонения между фактической и проектной геометрией объекта. Именно таким образом выявляются нарушения геометрии объекта, обусловленные негативными факторами существования объекта [19-21].

Основная часть. Для эффективного использования возможностей ВМ-технологий при обследовании ГТС необходимо выстроить информационное взаимодействие между различными программными продуктами, относящимися к системам автоматизированного проектирования. Такое взаимодействие позволит эффективно обрабатывать полученную для цифрового двойника информацию и интегрировать ее с системой управления сооружения (BMS—BuildingManagementSystem).

Система управления объектом гидротехнического строительства имеет в своей основе перечень автоматизированных аппаратных и программных продуктов, которые призваны отслеживать (управлять) и контролировать в автоматическом режиме инженерные системы, обеспечивающие эксплуатацию объекта.

С помощью этой системы и пьезодатчики, и анализаторы влажности, установленные в теле плотины, с помощью удаленного опроса фиксируют показатели в графическом виде и отправляют их на сервер, отвечающий за хранение и анализ полученной информации. Таким образом полученные данные верифицируются с критериями оценки технического состояния и безопасности гидротехнического объекта.

Интеграция цифрового двойника ГТС, разработанного с применением BIM-технологий, с системой управления объектом гидротехнического строительства дает необходимые преимущества:

1. Специалисты с различными компетенциями (строители, гидравлики, теплотехники, технологи, архитекторы и др.) имеют возможность одновременной работы с информационной моделью гидротехнического сооружения в одной среде.

2. Техническое обслуживание, ремонт или реконструкция самого ГТС и его инженерных систем определяется его стабильной эксплуатацией на протяжении всего жизненного цикла объекта капитального строительства. При этом необходимо отметить, что разносторонняя детализация цифрового двойника ГТС будет способствовать оптимизации различных процессов, связанных с ним.

3. Аналитические исследования информации, хранящейся в цифровом двойнике ГТС, дают возможность предугадывать и избегать возможные аварийные ситуации на гидротехнических сооружениях, что позитивно влияет на весь жизненный цикл объекта.

4. Симбиоз концепции BIM-технологий и BMS облегчает анализ и оптимизацию потребления энергии в ГТС, что способствует уменьшению затрат на его эксплуатацию, повышает надежность его работы.

Представим пример такого симбиоза на практике: при обследовании Балашихинского водохранилища на реке Ай [22] с целью его возможной реконструкции (рис. 1) были выполнены работы по разработке цифрового двойника данного объекта.

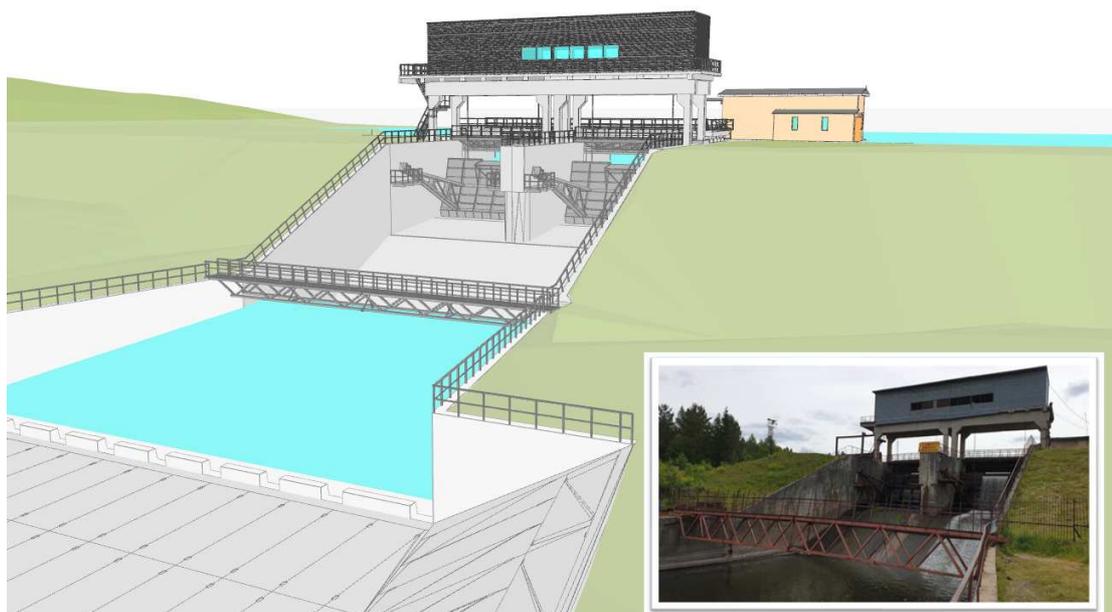


Рис. 1 Информационная модель гидротехнического сооружения Балашихинского водохранилища на реке Ай, Челябинская область, Россия

Обратите внимание, что на рис. 1 (на информационной модели ГТС) изображен вновь создаваемый строительный объект – пункт наблюдения за состоянием ГТС Балашихинского водохранилища. Это связано с использованием пьезометрического оборудования, позволяющего в жизненном цикле фиксировать напряженно-деформированное состояние откосов и створа ГТС.

На основе анализа оцифрованной модели гидротехнического сооружения, посаженного на рельеф местности (рис. 2), были выявлены дефекты и повреждения металлических и железобетонных конструкций, представленные на рис. 3.



Рис. 2 Модель ГТС Балашихинского водохранилища, (металлические и железобетонные конструкции)



Рис. 3 Прогрессирующее разрушение монолитного железобетонного откоса ГТС Балашихинского водохранилища

Для этого объекта были проведены расчеты для определения необходимости усиления отдельных элементов, в том числе железобетонных откосов, показанных на рис. 2 и 3.

В проекте реконструкции предусматривалась возможность интегрирования цифрового двойника объекта капитального строительства с системой пьезометрического контроля, обеспечивающего круглосуточное отслеживание за техническим состоянием объекта в его жизненном цикле.

Созданная информационная модель объекта может использоваться для анализа соответствия ГТС современным нормам и требованиям безопасности. Созданный цифровой двойник ГТС предоставляет возможность анализа напряженно-деформированного состояния его конструкций при воздействии или реконструкции как временных, так и постоянных нагрузок. Благодаря такой аналитической способности программных комплексов САПР были сделаны решения о модернизации и реставрации отдельных частей объекта гидротехнического назначения с опорой на выявленные недостатки при обследовании.

В ближайшем будущем применении BIM-технологий при обследовании сооружений гидротехнического назначения будут наблюдаться следующие пути развития:

1. Совершенствование методов обработки данных, полученных любым из вышеперечисленных способов, приведет к еще большей автоматизации процессов, которые на новом уровне позволят создавать еще более сложные информационные модели объектов. Здесь нужно отметить, что этот тренд позволит облегчить процесс обследования ГТС и снизить количество коллизий при разработке проектов.

2. Интеграция BIM-технологий с системами дополненной и виртуальной реальности.

3. Технологии искусственного интеллекта будут все шире использоваться для анализа данных информационной модели.

4. Развитие облачных сервисов для работы с информационными моделями.

5. Унификация структур данных и способов передачи информации между разными BIM-системами и связанными платформами имеет ключевое значение.

В России нормативно-правовая основа для BIM-технологий в строительстве постоянно актуализируется и совершенствуется [9-21]. Но несмотря на это, именно для гидротехнического строительства применение

ВІМ-технологий является сдерживающим фактором при их качественном обследовании.

Выводы. Технологии информационного моделирования при обследовании объектов гидротехнического назначения помогают адаптировать полученные данные к анализу и использованию при выполнении проектов по их капитальному ремонту или реконструкции. С помощью различных по назначению программных комплексов и систем автоматизированного проектирования объектов гидротехнического строительства работа над созданием информационных моделей – цифрового двойника сооружения - становится более предметной и конкретной: особенности рельефа и объекта обследования при сканировании приобретают геометрию цифрового двойника на моделируемой местности; конструктивное исполнение объекта гидротехнического назначения позволяет с помощью программных комплексов определять его прочность и устойчивость; программные продукты, направленные на управление объектом в жизненном цикле, помогают решать сложные эксплуатационные задачи в перспективе его использования.

Определенно, технологии информационного моделирования объектов гидротехнического назначения (ВІМ-технологии) помогают решать различные задачи на протяжении всего жизненного цикла объекта, в том числе, обследовать и анализировать состояние ГТС с целью их дальнейшей реконструкции и капитального ремонта.

Список источников

1. Качаев А. Е., Турапин С. С. Анализ этапов ВІМ-моделирования при проектировании и реконструкции гидротехнических сооружений // Наука и мир. – 2025. – № 1. – С. 16-20. – DOI 10.26526/2307-9401-2025-1-16-20.
2. Сидоренко Д. А., Качаев А. Е. ВІМ-технологии в строительстве: что будет дальше? // Новые технологии в учебном процессе и

производстве: Материалы XXI Международной научно-технической конференции, посвящённой 35-летию полета орбитального корабля-ракетоплана многоразовой транспортной космической системы "Буран", Рязань, 12–14 апреля 2023 года / Под редакцией А.Н. Паршина. – Рязань: Рязанский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Московский политехнический университет", 2023. – С. 490-492.

3. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. - Москва: ДМК Пресс, 2011. - 392 с.
4. Турапин С. С., Ольгаренко Г. В. Методические рекомендации по правилам эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений. Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. – 68 с.
5. Брыль С. В. К вопросу о создании цифровой информационной модели отдельно расположенных объектов гидромелиоративных систем // Наука. Исследования. Практика: Сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 25 июня 2022 года. – Санкт-Петербург: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2022. – С. 54-57. – DOI 10.37539/SRP303.2022.81.62.012.
6. Качаев А. Е., Турапин С. С. Обоснование необходимости разработки комплексных расчетных моделей грунтовых плотин мелиоративных систем // Наука и мир. – 2024. – № 3. – С. 1-5. – DOI 10.26526/2307-9401-2024-3-1-5.
7. Брыль С. В. К вопросу о цифровом моделировании мелиоративных объектов // InternationalAgriculturalJournal. – 2021. – Т. 64, № 6. – DOI 10.24412/2588-0209-2021-10440.

8. Качаев А. Е., Турапин С. С. Особенности реконструкции земляных плотин мелиоративных систем // Наука и мир. – 2024. – № 3. – С. 6-10. – DOI 10.26526/2307-9401-2024-3-6-10
9. ГОСТ Р 57310—2016 (ИСО 29481—1:2010) Моделирование информационное в строительстве. Руководство по доставке информации. Методология и формат. Дата введения 2017—07—01.
10. ГОСТ Р 57311—2016 Моделирование информационное в строительстве. Требования к эксплуатационной документации объектов завершеного строительства. Дата введения 2017—07—01
11. ГОСТ Р 57309—2016 (ИСО 16354:2013) Руководящие принципы по библиотекам знаний и библиотекам объектов. Дата введения 2017—07—01.
12. ГОСТ Р 57563—2017/ISO/TS 12911:2012 Моделирование информационное в строительстве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений (с Поправкой). Дата введения 2017—10—01.
13. ГОСТ Р ИСО 12006—2—2017 Строительство. Модель организации данных о строительных работах. Часть 2. Основы классификации информации. Дата введения 2017—10—01.
14. ГОСТ Р ИСО 12006—3—2017 Строительство. Модель организации данных о строительных работах. Часть 3. Основы обмена объектно—ориентированной информацией. Дата введения 2017—10—01
15. ГОСТ Р ИСО 22263—2017 Модель организации данных о строительных работах. Структура управления проектной информацией. Дата введения 2017—10—01.
16. ГОСТ Р 57563-2017 "Модели для информационного моделирования объектов капитального строительства. Правила описания основных элементов модели"

17. ГОСТ Р 58439.1-2019 "Информационное моделирование в строительстве. Управление жизненным циклом. Часть 1. Основные принципы"
18. СП 301.1325800.2017 Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно—техническими отделами. Дата введения 2018—03—02. Москва, Минстрой РФ, 2018. – 19 с.
19. СП 328.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели». Москва, Минстрой РФ, 2018. – 13 с.
20. СП 331.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах». Москва, Минстрой РФ, 2018. – 32 с.
21. СП 333.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла». Москва, Минстрой РФ, 2018. - 33 с.
22. <https://academy.nanocad.ru/news/pyat-prichin-proektirovat-gidrotekhnicheskie-sooruzheniya-s-nanocad>

References

1. Kachaev A. E., Turapin S. S. Analysis of BIM modeling stages in the design and reconstruction of hydraulic structures // Science and the World. - 2025. - No. 1. - Pp. 16-20. - DOI 10.26526/2307-9401-2025-1-16-20.
2. Sidorenko D. A., Kachaev A. E. BIM technologies in construction: what happens next? // New technologies in the educational process and production: Proceedings of the XXI International Scientific and Technical Conference dedicated to the 35th anniversary of the flight of the orbital rocket plane of the reusable transport space system "Buran", Ryazan, April

- 12-14, 2023 / Edited by A. N. Parshin. – Ryazan: Ryazan Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Moscow Polytechnic University", 2023. – Pp. 490-492.
3. Talapov V.V. BIM Basics: Introduction to Building Information Modeling. - Moscow: DMK Press, 2011. - 392 p.
 4. Turapin S.S., Olgarenko G.V. Methodical recommendations on the rules for the operation of irrigation systems and separate hydraulic structures. Kolomna: IP Vorobyov O.M., 2015. – 68 p.
 5. Bryl S.V. On the issue of creating a digital information model of separate objects of irrigation and drainage systems // Science. Research. Practice: Collection of selected articles based on the materials of the International Scientific Conference, St. Petersburg, June 25, 2022. – Saint Petersburg: Private Scientific and Educational Institution of Continuing Professional Education Humanitarian National Research Institute "NATSRZAVITIE", 2022. – Pp. 54-57. – DOI 10.37539/SRP303.2022.81.62.012.
 6. Kachaev A. E., Turapin S. S. Justification of the need to develop comprehensive calculation models of earth dams of reclamation systems // Science and the World. – 2024. – No. 3. – Pp. 1-5. – DOI 10.26526/2307-9401-2024-3-1-5.
 7. Bryl S. V. On the issue of digital modeling of reclamation objects // International Agricultural Journal. – 2021. – V. 64, No. 6. – DOI 10.24412/2588-0209-2021-10440.
 8. Kachaev A. E., Turapin S. S. Features of reconstruction of earthen dams of melioration systems // Science and the World. – 2024. – No. 3. – Pp. 6-10. – DOI 10.26526/2307-9401-2024-3-6-10
 9. GOST R 57310—2016 (ISO 29481—1:2010) Information modeling in construction. Guide to information delivery. Methodology and format. Date of introduction 2017—07—01.

10. GOST R 57311—2016 Information modeling in construction. Requirements for operational documentation of completed construction projects. Date of introduction 2017—07—01
11. GOST R 57309—2016 (ISO 16354:2013) Guidelines for knowledge libraries and object libraries. Date of introduction 2017—07—01.
12. GOST R 57563—2017/ISO/TS 12911:2012 Information modeling in construction. Basic provisions for the development of standards for information modeling of buildings and structures (with Amendment). Date of introduction 2017—10—01.
13. GOST R ISO 12006—2—2017 Construction. Model for organizing data on construction works. Part 2. Fundamentals of information classification. Date of introduction 2017—10—01.
14. GOST R ISO 12006—3—2017 Construction. Model for organizing data on construction works. Part 3. Fundamentals of object-oriented information exchange. Date of introduction 2017—10—01
15. GOST R ISO 22263—2017 Model for organizing data on construction works. Project information management structure. Date of introduction 2017—10—01.
16. GOST R 57563-2017 "Models for information modeling of capital construction projects. Rules for describing the main elements of the model"
17. GOST R 58439.1-2019 "Information modeling in construction. Life cycle management. Part 1. Basic principles"
18. SP 301.1325800.2017 Information modeling in construction. Rules for organizing work by production and technical departments. Date of introduction 2018-03-02. Moscow, Ministry of Construction of the Russian Federation, 2018. – 19 p.
19. SP 328.1325800.2017 "Information modeling in construction. Rules for describing components of an information model". Moscow, Ministry of Construction of the Russian Federation, 2018. – 13 p.

20. SP 331.1325800.2017 "Information modeling in construction. Rules for the exchange between information models of objects and models used in software packages". Moscow, Ministry of Construction of the Russian Federation, 2018. – 32 p.
21. SP 333.1325800.2017 "Information modeling in construction. Rules for the formation of an information model of objects at various stages of the life cycle". Moscow, Ministry of Construction of the Russian Federation, 2018. - 33 p.
22. <https://academy.nanocad.ru/news/pyat-prichin-proektirovat-gidrotekhnicheskie-sooruzheniya-s-nanocad>