

УДК 626-315.3

**АНАЛИЗ ЭТАПОВ BIM-МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ
ПРОЕКТИРОВАНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ**

Качаев Александр Евгеньевич,

канд. техн.наук, научный сотрудник,

ФГБНУ ВНИИ «Радуга»

Турапин Сергей Сергеевич,

канд. техн.наук, врио директора, ФГБНУ ВНИИ «Радуга»

Аннотация: В исследовании поднят вопрос применения технологии BIM-моделирования для проектирования и реконструкции гидротехнических сооружений. Разобраны этапы создания информационной модели гидротехнического сооружения, представлены основные мероприятия, необходимые для сбора полной информации о расчете и дальнейшей эксплуатации гидротехнических сооружений. Показаны примеры проектов гидротехнических сооружений, выполненных по технологии BIM-моделирования.

Ключевые слова: плотина, гидротехническое сооружение, грунт, фильтрация, напряженно-деформированное состояние, совмещенный расчет

**ANALYSIS OF BIM MODELING STAGES IN DESIGN AND
RECONSTRUCTION OF HYDRAULIC STRUCTURES**

Kachaev Alexander Evgenievich,

PhD, research fellow, Federal State Budgetary

Scientific Institution All-Russian Research Institute "Raduga"

Turapin Sergey Sergeevich,

PhD, Acting Director, Federal State Budgetary

Scientific Institution All-Russian Research Institute "Raduga"

Abstract: The study raises the issue of using BIM modeling technology for designing and reconstructing hydraulic structures. The stages of creating an information model of a hydraulic structure are analyzed, the main activities necessary for collecting complete information on the calculation and further operation of hydraulic structures are presented. Examples of hydraulic structure projects completed using BIM modeling technology are shown.

Keywords: dam, hydraulic structure, soil, filtration, stress-strain state, combined calculation

Введение. Технология информационного моделирования – BIM – гидротехнических сооружений (ГТС) в отличие от проектирования или реконструкции промышленных и гражданских зданий имеет ряд принципиальных отличий. Во-первых, при разработке проектов гидротехнических сооружений необходимо учитывать особые требования к экологии местности, прогнозировать возможные аварийные ситуации и их последствия. Во-вторых, гидротехника подобного рода сооружений принципиальным образом отличается от гидротехники многоэтажных зданий или промышленных объектов. В-третьих, фильтрационные свойства грунтов прямо зависят от их физико-механических характеристик, и, тем самым, определяет специальные мероприятия для надежной эксплуатации гидротехнических сооружений.

Помимо вышеперечисленного, необходимо представлять полный спектр задач, которые решает технология информационного моделирования для гидротехнических сооружений [1, 2]. При проектных или реконструкционных работах, при разработке объектов ГТС особое внимание уделяется решению следующих задач:

- определение геометрии модели сооружения на местности (цифровая посадка объекта ГТС на рельеф местности);
- разработка и оптимизация конструктива объекта ГТС;
- определение типа материалов грунтов и его моделей для объектов ГТС;

- генерация оптимальных сеток объекта ГТС для его информационного моделирования;

- определение необходимых расчетов объектов ГТС и их верификация с целью формирования единого представления о каждой полученной информационной модели;

- использование результатов информационного моделирования объектов ГТС для разработки проектной и рабочей документации планируемого к возведению или реконструируемого объекта ГТС.

Целью настоящего исследования является проведение анализа необходимых мероприятий при использовании технологии BIM-моделирования для проектирования и реконструкции гидротехнических сооружений. Анализ проектных задач, стоящих перед разработкой новой конструкции или реконструкции ГТС, позволит определить последовательность и взаимосвязь с основными этапами проектирования подобного рода объектов, а также сформировать подход для проектных работ на этапе реконструкции ГТС.

Методы и объекты исследования. В соответствии с концептуальным подходом BIM-моделирования объектов капитального строительства [2, 3], в том числе и ГТС, для исследования используется анализ и содержание мероприятий, направленных на разработку информационной модели ГТС, с целью определения алгоритма действий при проектировании и реконструкции подобного рода объектов. Объектами для исследования являются существующие ГТС нашей страны, которые выполнены с использованием современных САПР – технологий.

Основная часть. На начальной стадии проектирования ГТС очень важно изучить результаты инженерно-геодезических и геологических изысканий свойств грунтов, на которых планируется возведение ГТС или его реконструкция [4, 5]. На рис. 1 показана методология реализации проектных работ по ГТС.

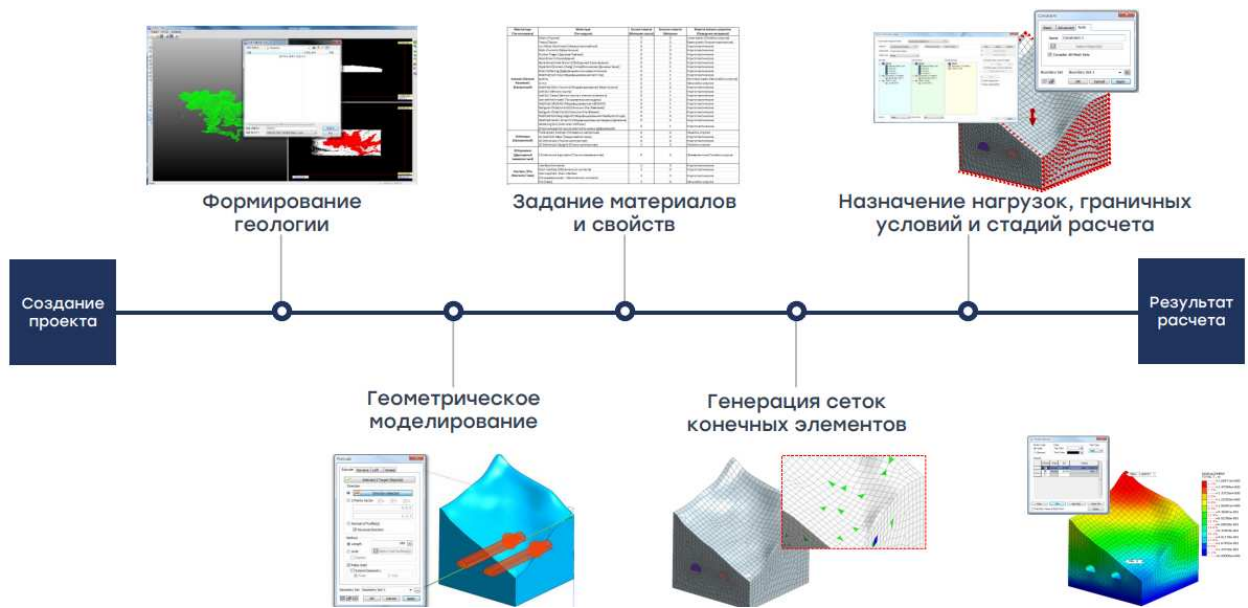


Рис. 1 Рабочий процесс создания информационной модели ГТС

Сначала решаются задачи исследования инженерно-геологических элементов грунтов, анализа полученных результатов и предложений по укреплению или разработке таких грунтов. Для самого информационного моделирования на этом этапе важно иметь набор программных продуктов, которые позволяют получать из плоских моделей местности триангуляционные поверхности ее рельефа. Трехмерное образование поверхностей рельефа в дальнейшем позволит адаптировать наилучшим образом конструкцию и архитектуру ГТС в условиях конкретной местности со специальными гидрологическими и метеорологическими условиями [6-8].

Для создания информационной модели ГТС с учетом различных программных продуктов очень важно иметь возможности импорта одних объектов в другие. Например, изображение с геологическим разрезом грунтов, начерченное с помощью программы AutoCAD, импортировать в расчетные программы для определения напряженно-деформационного состояния грунтов и др.

Во время этапа геометрического моделирования (проектирования) создаются трехмерные модели местности, самого ГТС, а также определяется его конструктивный и архитектурно-художественный вид. Здесь

возможности для расчетов и проектирования каркасов ГТС, устройства их водозаборных и водопропускных узлов хорошо реализуются за счет отечественных программных комплексов – ЛИРА САПР и Renga.

На этапе моделирования (проектирования) ГТС требуется значительный объем информации с предыдущих этапов. Поэтому очень важно на каждом этапе проектирования (разработки проекта реконструкции) ГТС выполнять необходимые мероприятия в полном объеме и верифицировать полученные данные [9].

Очень важной информацией, позволяющей воспринимать расчетные материалы как верные, является определение для различных объектов расчетной модели материалов и их свойств. В последующем этот этап покажет всю полноту получающихся расчетов по ГТС, тем самым, позволит внести в проект необходимые изменения, вызванные не только геометрией рельефа местности, но и свойствами грунтов этой местности.

Этап генерации сеток конечных элементов для проектируемых или реконструируемых ГТС. Оптимальное построение сетки с различными конечными элементами позволяет более точно определять состояние того или иного материала при его расчете. Сетка различной конфигурации и сложности формирует геометрию той или иной области расчета. необходимо еще обратить внимание на то, что многие решатели конечно-элементного анализа в различных программных продуктах не могут работать с конечными элементами неправильной формы. Достаточно неплохо такие решатели работают с простыми формами – кубическими и призматическими.

На этапе различных расчетов ГТС необходимо иметь полный спектр возможностей и программных комплексов, чтобы выполнить:

- расчет устойчивости (Метод редукции прочности; метод анализа напряжений);
- расчет консолидации (дренированное и недренированное поведение грунта);

- динамический расчет (определение собственных форм колебаний, прямой динамический метод переходных процессов во времени);
- статический расчет (линейный и нелинейный);
- теплотехнический расчет (расчет теплообмена; термомеханический связный расчет; термогидромеханический связный расчет);
- расчет фильтрации (установившийся и неустановившийся) [9];
- совмещенный расчет (фильтрация, напряженно-деформированное состояние, устойчивость).

Этот этап характерен еще и тем, что необходимо помимо всего прочего выполнить сбор нагрузок на проектируемый или реконструируемый объект. Порой это бывает достаточно сложно, что может повлиять на конечный результат расчета. Во избежание больших неточностей в расчетной информационной модели необходимо максимально использовать существующие методики для сбора нагрузок на все возможные поверхности, задействованные в контакте с грунтом, водой или атмосферными осадками и явлениями.

На рис. 2 показана трехмерная модель грунтовой плотины с посадкой на местности. Расчетная сетка из треугольных конечных элементов показана на рельефе[10].

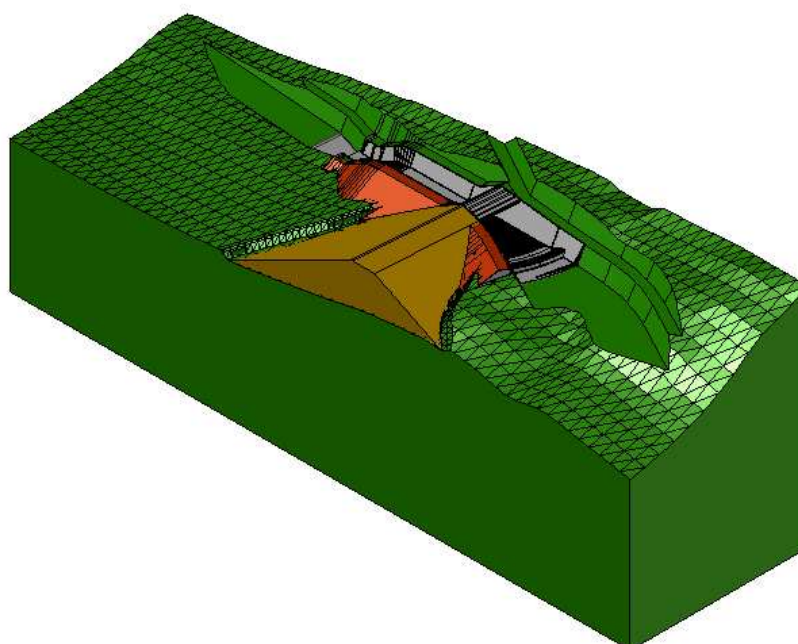


Рис. 2 BIM-модель ГТС на р. Воронеж (Гидроузел Червлёный Яр)

После того, как получен окончательный результат поведения трехмерной модели ГТС на местности с определенными свойствами грунтов, проектировщик приходит к выводам, которые могут существенно изменить проект. От высоко верифицированной информационной модели ГТС будут зависеть различные разделы проектной и рабочей документации на объект капитального строительства [11, 12].

Заключение. В исследовании показаны основные этапы технологии BIM-моделирования на примере гидротехнических сооружений. При строительстве или реконструкции подобного рода сооружений важным элементом прохождения государственной экспертизы является безопасность объекта капитального строительства, соответствие его экологическим нормативам в сфере строительства ГТС.

На основании вышеизложенного можно заключить, что BIM-моделирование объектов гидротехнической отрасли позволяет получать полноценную информацию об объекте эксплуатации, отслеживать поведение грунтов, техническое состояние самого ГТС во времени.

Информация, полученная для ГТС на различных стадиях его проектирования или реконструкции, способствует его безопасной эксплуатации и продлевает срок службы.

В исследовании поднят вопрос применения технологии BIM-моделирования для проектирования и реконструкции гидротехнических сооружений в связи с появившимися широкими возможностями информационных технологий, в том числе и в сфере гидротехнического строительства. В результате анализа разобраны этапы создания информационной модели гидротехнического сооружения, представлены основные мероприятия, необходимые для сбора полной информации о расчете и дальнейшей эксплуатации гидротехнических сооружений, показаны примеры проектов гидротехнических сооружений, выполненных по технологии BIM- моделирования.

Список источников

1. Сидоренко Д. А., Качаев А. Е. BIM-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.
2. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. - Москва: ДМК Пресс, 2011. - 392 с.
3. 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.
4. Турапин С. С. Методические рекомендации по правилам эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений / С. С. Турапин, Г. В. Ольгаренко. – Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. – 68 с.
5. Качаев, А. Е. Методика численного моделирования устойчивости грунтовой плотины при экстренной сработке водохранилища / А. Е. Качаев, С. С. Турапин // Экология и строительство. – 2024. – № 4. – С. 4-13. – DOI 10.35688/2413-8452-2024-04-001.
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. Качаев, А. Е. Определение крутизны волноустойчивого неукрепленного откоса плотин из песчаного грунта // Наука и мир. – 2024. – № 4. – С. 1-5. – DOI 10.26526/2307-9401-2024-4-1-5.
8. Мозголов М. В., Брыль С. В., Козлова Е. В. О влиянии балки опорного контура на напряженно-деформированное состояние балок прямых кессонных железобетонных перекрытий // Системные технологии. – 2022. – № 2(43). – С. 31-40. – DOI 10.55287/22275398_2022_2_31.
9. Анискин Н.А. Неустановившаяся фильтрация в грунтовых плотинах и основаниях // Вестник МГСУ. 2009. № 2. С. 70–79.
10. 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.
11. Брыль С. В. К вопросу о цифровом моделировании мелиоративных объектов // InternationalAgriculturalJournal. – 2021. – Т. 64, № 6. – DOI 10.24412/2588-0209-2021-10440.
12. СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла». – Минстрой России. 2020. - 219 с.

References

1. Sidorenko D. A., Kachaev A. E. BIM technologies in construction: what will happen 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.
2. Talapov V. V. BIM Basics: Introduction to Building Information Modeling. - Moscow: DMK Press, 2011. 392 p.
3. 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.
4. Turapin S. S. Methodological recommendations on the rules for the operation of melioration systems and separately located hydraulic structures / S. S. Turapin, G. V. Olgarenko. - Kolomna: IP Vorobyov O. M., 2015. 68 p.
5. Kachaev, A. E. Methodology for numerical modeling of the stability of an earth dam during emergency drawdown of a reservoir / A. E. Kachaev, S. S. Turapin // Ecology and Construction. 2024. No. 4. Pp. 4-13. – DOI 10.35688/2413-8452-2024-04-001.
6. Kachaev A. E., Turapin S. S. Justification of the need to develop complex calculation models of earth dams of land reclamation systems // Science and the World. 2024. No. 3. Pp. 1-5. – DOI 10.26526/2307-9401-2024-3-1-5.
7. Kachaev, A. E. Determination of the steepness of a wave-resistant unreinforced slope of dams made of sandy soil // Science and the World. 2024. No. 4. Pp. 1-5. – DOI 10.26526/2307-9401-2024-4-1-5.
8. Mozgolov M. V., Bryl S. V., Kozlova E. V. On the influence of the support contour beam on the stress-strain state of beams of straight caisson reinforced

concrete floors // System technologies. 2022. No. 2(43). Pp. 31-40. – DOI 10.55287/22275398_2022_2_31.

9. Aniskina N. A. Unsteady filtration in earth dams and foundations // Bulletin of MGSU. 2009. No. 2. Pp. 70–79.
10. Bryl S. V. On the issue of creating a digital information model of separately located 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. - St. 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.
11. Bryl S. V. On the issue of digital modeling of reclamation objects // International Agricultural Journal. 2021. Vol. 64, No. 6. - DOI 10.24412/2588-0209-2021-10440.
12. SP 333.1325800.2020 "Information modeling in construction. Rules for the formation of an information model of objects at various stages of the life cycle." - Ministry of Construction of Russia. 2020. - 219 p.