МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Учебно-методическое пособие



МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

Электронное издание
локального распространения

Санкт-Петербург
Наукоемкие технологии
2026

© Козак Н. В., Ярошутин Д. А.,
Гуманюк И. А., Назина Е. Д., 2026
ISBN 978-5-00271-199-4

УДК 624.21:004.9(075.8)
ББК 39.112я73
М74

Авторы:
Николай Викторович Козак – канд. техн. наук, доцент кафедры транспортных систем и дорожно-мостового строительства СПбГАСУ;
Дмитрий Андреевич Ярошутин – старший преподаватель кафедры транспортных систем и дорожно-мостового строительства СПбГАСУ;
Илья Александрович Гуманюк – аспирант кафедры транспортных систем и дорожно-мостового строительства СПбГАСУ;
Евгения Дмитриевна Назина – студент СПбГАСУ (специальность 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»)

Рецензенты:
С. В. Ефимов, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Мосты» Сибирского государственного университета путей сообщения;
И. В. Щеканова, начальник отдела информационного моделирования АО «Мосгипротранс»

Козак, Н. В.
М74 Моделирование и визуализация проектных решений мостовых сооружений [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / Н. В. Козак, Д. А. Ярошутин, И. А. Гуманюк, Е. Д. Назина. – Электрон, текстовые дан. (15,2 Мб). – СПб.: Наукоемкие технологии, 2026. – 139 с. – 1 электрон., опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-5-00271-199-4

Рассмотрены основы геометрического и информационного моделирования мостовых сооружений: уровни проработки моделей (LOD, LOI), особенности моделирования протяженных объектов, современное отечественное и зарубежное программное обеспечение и форматы обмена данными. Изложены цели и виды визуализации проектных решений. На сквозном примере сталежелезобетонного моста показаны приемы моделирования в SketchUp и Revit, статической визуализации в V-Ray, статической и динамической визуализации в Twinmotion, а также постобработки изображений и видеоматериалов с применением нейросетевых инструментов. Разделы снабжены контрольными вопросами, приведены задания для практической работы и исходные файлы.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализация «Строительство мостов и тоннелей». Может быть полезно аспирантам и инженерам-проектировщикам.

Текстовое электронное издание

Минимальные системные требования:

- процессор: Intel x86, x64, AMD x86, x64 не менее 1 ГГц;
- оперативная память RAM ОЗУ: не менее 512 МБайт;
- свободное место на жестком диске (HDD): не менее 120 МБайт;
- операционная система: Windows XP и выше;
- Adobe Acrobat Reader;
- дисковод CD-ROM;
- мышь.

ISBN 978-5-00271-199-4
© Козак Н. В., Ярошутин Д. А., Гуманюк И. А., Назина Е. Д., 2026

Учебное издание

Козак Николай Викторович
Ярошутин Дмитрий Андреевич
Гуманюк Илья Александрович
Назина Евгения Дмитриевна

Моделирование и визуализация проектных решений мостовых сооружений

Учебно-методическое пособие

Электронное издание
локального распространения

Издается в авторской редакции
Публикуется из оригинал-макета, подготовленного авторами
Главный редактор *В. М. Коровин*

Все упомянутые в издании наименования программных продуктов и товарные знаки (в том числе SketchUp, Revit, V-Ray, Twinmotion) являются собственностью их правообладателей. Снимки экранов интерфейсов программ приведены исключительно в учебных и иллюстративных целях в порядке, предусмотренном статьей 1274 Гражданского кодекса Российской Федерации.

Издательство «Наукоемкие технологии»
ООО «Корпорация «Интел Групп»
https://publishing.intelgr.com
E-mail: publishing@intelgr.com
Тел.: +7 (812) 945-50-63

Подписано к использованию 03.11.2026 г.
Объем издания – 15,2 Мб.
Комплектация издания – 1 CD.
Тираж 100 CD.

ISBN 978-5-00271-199-4



Содержание

Введение 6
Список терминов 8
1. Геометрическое и информационное моделирование мостовых сооружений 14
1.1. Геометрическое и информационное моделирование 14
1.2. Уровни проработки и детализации моделей 15
1.3. Особенности моделирования мостовых сооружений 19
1.4. Существующее программное обеспечение 20
1.5. Форматы обмена и передачи данных 23
1.6. Рекомендации по подготовке моделей для возможности обмена 24
2. Визуализация моделей мостовых сооружений 27
2.1. Определение визуализации 27
2.2. Существующее программное обеспечение 29
2.3. Рекомендации по выполнению визуализаций 32
3. Инструменты для моделирования мостовых сооружений 35
3.1. Описание примера для моделирования 36
3.2. Моделирование мостового сооружения в SketchUp 37
3.2.1. Краткая информация о программе 37
3.2.2. Архитектура программы и принципы работы 39
3.2.3. Структура модели 45
3.2.4. Основные инструменты 50
3.2.5. Рекомендации по моделированию 55
3.3. Моделирование мостового сооружения в Revit 64
3.3.1. Архитектура программы и принципы работы 64
3.3.2. Структура модели 65
3.3.3. Основные инструменты 67
3.3.4. Рекомендации по моделированию 70
3.3.5. Возможности использования модели 72
3.3.6. Пример модели 73
4. Инструменты для визуализации моделей мостовых сооружений 84
4.1. Статическая визуализация в V-Ray 84
4.1.1. Основы процесса визуализации 86
4.1.2. Основные настройки визуализации 87
4.1.3. Рекомендации по выполнению визуализации 96

4.2. Статическая и динамическая визуализация в Twinmotion 106
4.2.1. Описание и принцип работы 106
4.2.2. Параметры импортируемых файлов 107
4.2.3. Инструментарий Twinmotion 110
4.2.4. Настройка сцены 113
4.2.5. Создание статических изображений 115
4.2.6. Создание видеороликов 116
4.2.7. Пример выполнения статической визуализации 118
4.2.8. Пример выполнения динамической визуализации 124
4.3. Постобработка изображений моделей с применением нейросетей .. 127
4.3.1. Применение нейросетей при работе с изображениями 127
4.3.2. Ограничения нейросетевой обработки 128
4.3.3. Составление промпта для обработки изображения 129
4.3.4. Существующие инструменты для обработки изображений 130
4.3.5. Применение нейросетей при работе с видеоматериалами 132
4.3.6. Промпты для обработки видео 132
4.3.7. Существующие инструменты для обработки видеороликов 133
4.3.8. Общие рекомендации 133
5. Материал для практической работы 136
Список использованных источников 137
Рекомендуемая литература 139

Введение

В настоящее время в области проектирования объектов дорожно-транспортной инфраструктуры для демонстрации проектных решений все чаще используются объемные цифровые модели объектов и их фотореалистичные изображения (рендеры). Это позволяет значительно повысить наглядность замысла проектировщика при обсуждении проекта с заказчиками, а также в ходе общественных слушаний. Кроме того, применение объемных моделей и визуализаций на этапе проектирования нередко помогает оценить эстетические и архитектурные свойства объекта с различных ракурсов, что не всегда доступно при использовании «классических» подходов с построением основных видов.

Будущим инженерам важно понимать, что рендер или объемная геометрическая модель являются лишь одним из способов демонстрации разработанного проекта. Это своего рода «надстройка» над основным объемом работ, выполняемых в ходе проектирования, который включает анализ исходных данных, вариантное проектирование, выбор конструктивных решений с подтверждением их расчетами, определение объемов работ и технологии строительства и так далее. Рендер или модель ни в коем случае не могут рассматриваться инженером как основной результат проектирования. В то же время в условиях современного подхода к презентациям проектов, который получает все большее развитие, в том числе в строительной сфере, необходимость для инженеров уметь подготавливать качественные иллюстрации своих решений становится очевидной.

Данное учебно-методическое пособие ориентировано на студентов, обучающихся по специальностям, связанным с проектированием мостовых сооружений. Пособие не имеет жесткой привязки к конкретной дисциплине и может быть полезно при освоении любых курсов, где у обучающихся возникает потребность в визуализации своих решений к этапу защиты

проекта. Особенно востребованным пособие может оказаться на этапе подготовки выпускной квалификационной работы.

По своей структуре пособие включает теоретическую часть, в которой рассматриваются основные принципы геометрического и информационного моделирования и визуализации мостовых сооружений, и практическую часть с разбором инструментов SketchUp, Revit, V-Ray и Twinmotion, а также нейросетевых средств постобработки изображений и видеоматериалов. Основная цель пособия — дать обучающимся последовательное представление о подготовке трехмерной модели, выборе необходимой степени детализации, передаче данных между программами и получении визуальных материалов для представления проектного решения. Приведенные приемы не являются единственно возможными и могут корректироваться в зависимости от типа сооружения, состава исходных данных и задач конкретного учебного проекта.

В пособии сделан акцент на рассмотрении различных подходов к моделированию и визуализации, которые представлены выбранными программами; при этом сами подходы этими программами не ограничиваются. Для моделирования рассматриваются SketchUp — простой и быстрый инструмент, хорошо подходящий для инженерных эскизов (скетчей), и Revit — полноценная инженерная среда проектирования в парадигме информационного моделирования. Для визуализации рассматриваются V-Ray — классическая система рендеринга с наиболее полной физической основой расчета, в определенной мере уступающая место системам реального времени, и Twinmotion — современный представитель систем визуализации в реальном времени. Отдельно рассматривается нейросетевая визуализация — принципиально новый подход, основанный не на физическом расчете освещения, а на обобщении данных.

Названия команд приводятся на языке интерфейса, на котором выполнены иллюстрации: для SketchUp и Revit — на русском, для V-Ray и Twinmotion — на английском.

Список терминов

Термины сгруппированы по категориям: общие понятия, моделирование, визуализация. Определения терминов, установленных нормативными документами, приведены в адаптированном виде; источник указан в квадратных скобках (см. список использованных источников). Остальные термины даны в трактовке, принятой в настоящем пособии.

Общие понятия

Атрибутивные данные (Attribute Data) — сведения об элементе модели, которые нельзя увидеть в его геометрии: марка, материал, масса, технические параметры, изготовитель и т. п. Именно они отличают информационную модель от геометрической [1, п. 3.1.9].

Геометрическая модель (Geometric Model) — трехмерная модель, передающая форму, размеры и взаимное положение элементов объекта без обязательного атрибутивного наполнения.

Импорт (Import) — загрузка в программу данных, созданных в другом программном обеспечении или сохраненных в другом формате.

Информационная модель (Information Model) — цифровая модель объекта, в которой геометрия элементов связана с атрибутивными данными.

Информационное моделирование (Building Information Modelling, BIM) — подход к проектированию, строительству и эксплуатации, при котором участники работают с общей цифровой моделью объекта и принимают решения на основе содержащихся в ней данных [6, 7]. Применительно к мостовым сооружениям используется также термин BrIM (Bridge Information Modelling).

Отраслевые базовые классы (Industry Foundation Classes, IFC) — открытый формат обмена информационными моделями, не привязанный к конкретной программе: в нем передаются геометрия, структура объекта и свойства элементов [5, 10].

Трехмерная модель (3D Model) — цифровое представление объекта в трех измерениях, описывающее его форму, размеры и положение элементов в пространстве.

Уровень геометрической детализации (Level of Detail, LOD; реже — Level of Geometry, LOG) — показатель того, насколько подробно передана форма элемента: от условного объема до узлов и крепежа [11].

Уровень информационного наполнения (Level of Information, LOI) — показатель того, насколько полно элемент описан атрибутивными данными: от наименования до марок, характеристик и сведений об изготовителе [11].

Уровень информационных потребностей (Level of Information Need, LOIN) — определяемые для конкретной цели использования модели объем и степень подробности требуемых данных — геометрии, атрибутивных данных и документации. В отличие от LOD, это не числовая шкала, а описание того, какие данные и с какой подробностью нужны для решения конкретной задачи [7, 8].

Уровень проработки модели (Level of Development, LOD) — показатель того, насколько полно и достоверно в модели заданы геометрические и атрибутивные данные элемента; объединяет уровень геометрической детализации и уровень информационного наполнения. Термин СП 333.1325800; в редакции 2017 г. обозначается числами 100–500, в редакции 2020 г. — буквами A–G [1, п. 3.1.14].

Уровень точности (Level of Accuracy, LOA) — показатель того, насколько точно модель существующего объекта совпадает с его фактической формой и положением; важен при моделировании по данным лазерного сканирования и фотограмметрии [13].

Формат обмена данными (Data Exchange Format) — формат файла для передачи геометрии и иных данных между программами, например IFC, DXF, FBX, OBJ, glTF.

Цифровая информационная модель, ЦИМ (Digital Information Model) — принятое в российских нормах название информационной модели в цифровом виде: трехмерная модель, элементы которой связаны с атрибутивными данными [1, п. 3.1.6].

Цифровая модель местности, ЦММ (Digital Terrain Model) — цифровое представление рельефа и ситуации территории вместе с данными инженерных изысканий; для мостового сооружения служит основой при размещении опор и подходов. В СП 333.1325800 соответствующее понятие называется инженерной цифровой моделью местности (ИЦММ) [1, п. 3.1.5].

Экспорт (Export) — сохранение или передача данных из одной программы для использования в другой либо для получения итогового файла изображения, видео или модели.

Моделирование

Вложенное семейство (Nested Family) — семейство Revit, размещенное внутри другого семейства как его составная часть.

Группа (Group) — несколько объектов, объединенных в один элемент, чтобы их было удобно выбирать, перемещать и редактировать вместе. В SketchUp копии группы независимы друг от друга, в Revit изменения внутри группы переносятся на все ее экземпляры.

Декомпозиция модели (Model Decomposition) — разделение сооружения на части и элементы (пролетные строения, опоры, мостовое полотно и др.) до начала построения модели.

Иерархия модели (Model Hierarchy) — система организации элементов модели по уровням вложенности и взаимным связям, облегчающая поиск, выбор, скрытие и редактирование отдельных частей модели.

Компонент (Component) — многократно используемый объект SketchUp. Все копии (экземпляры) компонента связаны общим определением: если изменить геометрию внутри одного из них, изменятся

все. Масштабирование или поворот отдельного экземпляра на остальные не влияет.

Моделирование (Modeling) — процесс создания и редактирования цифровой модели объекта.

Параметр (Parameter) — числовая, текстовая или иная характеристика цифрового объекта, определяющая его свойства, размеры, положение либо информационное содержание.

Параметрическая модель (Parametric Model) — модель, геометрия и свойства которой управляются системой параметров и зависимостей; изменение параметра приводит к изменению связанных элементов.

Расширение (Extension) — дополнительный модуль, расширяющий набор инструментов программы; в SketchUp устанавливается из каталога Extension Warehouse или SketchUcation либо из файла RBZ.

Сборочное семейство (Nested Family Assembly) — в пособии — семейство Revit, собранное из нескольких вложенных семейств, например опора из ригеля, стоек и фундамента или пролетное строение из балок и диафрагм.

Семейство (Family) — основной «строительный блок» Revit: набор однотипных элементов с общими параметрами и единым графическим представлением, например семейство балок или опор. Различают системные, загружаемые и контекстные семейства.

Тип, или типоразмер (Type) — вариант семейства Revit с определенным набором параметров; изменение параметров типа распространяется на все экземпляры этого типа.

Экземпляр (Instance) — конкретный объект, размещенный в модели на основе семейства и типа (в Revit) или определения компонента (в SketchUp); изменение параметров экземпляра затрагивает только этот объект.

Визуализация

Визуализация (Visualization) — процесс получения на основе трехмерной модели графических материалов для наглядного представления проектного решения, включающий настройку материалов, освещения, окружения, камер и других параметров сцены.

Генеративная нейросеть (Generative Neural Network) — нейросеть, которая создает новые изображения или видео либо изменяет существующие по текстовому описанию (промпту) и исходным материалам.

Динамическая визуализация (Animated Visualization) — представление трехмерной сцены в виде видеоролика, анимации или интерактивного материала с изменением положения камеры, объектов или параметров среды во времени.

Кадр (Frame) — отдельное изображение сцены, определяемое положением и параметрами камеры, настройками окружения и режимом визуализации.

Ключевой кадр (Keyframe) — кадр, соответствующий определенной точке обзора в сцене; при воспроизведении камера плавно перемещается между ключевыми кадрами.

Материал (Material) — совокупность параметров, определяющих визуальные свойства поверхности: цвет, текстуру, отражение, преломление, прозрачность, шероховатость и др.

Нейросетевая визуализация (AI-based Visualization) — визуализация, при которой изображение создается или изменяется нейросетью, обученной на большом количестве примеров, без физического расчета освещения.

Объект окружения (Entourage) — элемент сцены, не относящийся к проектируемому сооружению, но необходимый для передачи его контекста: существующая застройка, рельеф, растительность, транспорт, люди, элементы благоустройства.

Постобработка (Post-processing) — обработка полученного изображения или видеоматериала: цветокоррекция, настройка контраста и экспозиции, применение фильтров, исправление отдельных участков и др.

Промпт (Prompt) — текстовое задание для генеративной нейросети, описывающее требуемый результат, выполняемые изменения и ограничения обработки.

Режим реального времени (Real-time Rendering) — визуализация, при которой изображение обновляется сразу во время работы со сценой: изменения материалов, освещения или ракурса тут же видны на экране.

Рендеринг (Rendering) — процесс расчета изображения трехмерной сцены с учетом геометрии, материалов, освещения и параметров камеры; полученное изображение называют рендером.

Статическая визуализация (Still Rendering) — визуализация, результатом которой является одно или несколько неподвижных изображений выбранных ракурсов (сцен).

Сцена (Scene) — совокупность импортированной модели, объектов окружения, материалов, источников света, камер и настроек среды, на основе которой выполняется визуализация.

Текстура (Texture) — растровое изображение или карта, используемая в составе материала для воспроизведения внешнего вида поверхности.

Физически корректная визуализация, или визуализация на основе физического расчета освещения (Physically Based Rendering) — визуализация, при которой изображение получается расчетом того, как свет распространяется в сцене и взаимодействует с материалами. Расчет выполняется для конкретного заданного ракурса (V-Ray) или в реальном времени (Twinmotion).

1. Геометрическое и информационное моделирование мостовых сооружений

Цель главы — сформировать представление о геометрическом и информационном моделировании мостовых сооружений, уровнях проработки и детализации моделей, применяемом программном обеспечении и форматах обмена данными. В результате изучения главы обучающийся должен:

- знать различие между геометрической и информационной моделью, понятия уровня проработки и уровня геометрической детализации модели;
- ориентироваться в программном обеспечении для моделирования мостовых сооружений и форматах обмена данными;
- уметь выбирать уровень детализации модели и формат ее передачи в зависимости от поставленной задачи.

1.1. Геометрическое и информационное моделирование

Под геометрическим моделированием в настоящем пособии понимается создание цифрового пространственного представления объекта, передающего форму, размеры и взаимное положение его частей. Геометрическая модель позволяет рассматривать сооружение с различных ракурсов, получать проекции и разрезы, оценивать пропорции и служит основой для последующей визуализации.

Информационная модель, помимо геометрии, содержит атрибутивные данные об элементах: сведения об изготовителе и стоимости, характеристики материалов, несущую способность, сроки службы, стадию строительства и другие данные, необходимые участникам проекта. Наглядным примером различия двух подходов является армирование. Для геометрической модели, предназначенной для визуализации, арматура не требуется, поскольку она скрыта в бетоне и не видна на изображениях. В информационной модели армирование, напротив, является значимым компонентом: стержни, сетки, каркасы и напрягаемая арматура представляются самостоятельными

объектами с собственными параметрами — классом и диаметром, формой, шагом, защитным слоем, количеством и положением в конструкции, — на основе которых формируются ведомости и спецификации.

В большинстве современных программ геометрические и атрибутивные данные существуют совместно, а различие между геометрической и информационной моделью определяется степенью информационного наполнения, которая, в свою очередь, зависит от назначения модели. Для трехмерных информационных моделей визуализация является одним из сценариев использования наряду с выпуском чертежей и спецификаций, подсчетом объемов работ, проверкой пространственных пересечений и другими. Если целью разработки модели является получение визуализации, то достаточно корректной геометрии, упорядоченной структуры и назначенных материалов. Требования к информационному наполнению возрастают, если модель используется для получения чертежей, спецификаций и ведомостей или для детальной проработки армирования.

1.2. Уровни проработки и детализации моделей

Для описания требуемой полноты модели применяется несколько взаимосвязанных понятий (рис. 1.1):

- уровень проработки модели (Level of Development, LOD; термин СП 333.1325800) — степень полноты геометрических и сопутствующих атрибутивных данных элемента, на которую могут опираться участники проекта;
- уровень геометрической детализации (Level of Detail, LOD; реже — Level of Geometry, LOG) — степень подробности графического представления элемента;
- уровень информационного наполнения (Level of Information, LOI) — состав и полнота атрибутивных данных элемента;
- уровень точности (Level of Accuracy, LOA) — допустимое отклонение модели существующего объекта от его фактической формы и

положения; применяется при моделировании по данным лазерного сканирования и фотограмметрии.

Аббревиатура LOD используется в двух значениях. Уровень проработки (Level of Development) характеризует полноту элемента в целом — и его геометрии, и связанных с ним данных, тогда как уровень геометрической детализации (Level of Detail) описывает только подробность геометрического представления. Иначе говоря, уровень проработки объединяет уровень геометрической детализации и уровень информационного наполнения (рис. 1.1).

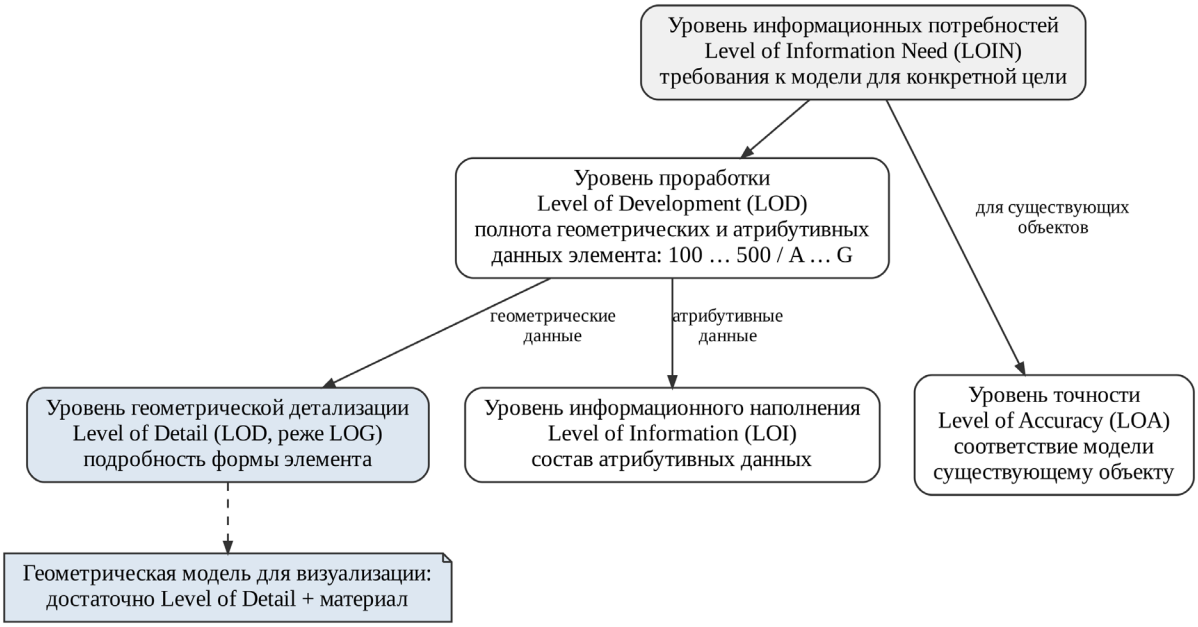


Рис. 1.1. Соотношение понятий, описывающих полноту модели

В международных стандартах перечисленные понятия обобщены концепцией уровня информационных потребностей (Level of Information Need, LOIN; EN 17412-1:2020, ISO 7817-1:2024) [8, 9]. В ней требования к геометрии, атрибутам и документации задаются для каждой цели использования модели, а не через единую числовую шкалу.

Уровни проработки (Level of Development) принято обозначать числами от 100 до 500 [12]:

– LOD 100 — условное представление элемента (объем, символ) с ориентировочными размерами и положением;

– LOD 200 — обобщенная геометрия с приближенными размерами, формой, положением и ориентацией;
– LOD 300 — геометрия с проектными размерами, формой, положением и ориентацией;
– LOD 400 — детализация, достаточная для изготовления и монтажа, включая узлы и крепеж;
– LOD 500 — модель, соответствующая построенному объекту (исполнительная).

Национальные стандарты и отраслевые спецификации разных стран исторически описывали уровни проработки модели по-разному: единой числовой шкалой LOD, раздельными требованиями к геометрии (LOD) и атрибутивным данным (LOI), требованиями, привязанными к стадиям проекта. В настоящее время эти подходы сближаются на основе международных стандартов серии ISO 19650 и ISO 7817-1:2024 [7, 8], в которых требования к модели формулируются через уровень информационных потребностей; национальные нормативные документы при этом сохраняют собственные системы обозначений.

В России первая редакция СП 333.1325800.2017 [2] ввела понятие уровня проработки (LOD) и шкалу LOD 100–500 с требованиями к геометрическим, графическим и атрибутивным данным элементов (п. 6.3, табл. 6.1). Действующая редакция СП 333.1325800.2020 [1] от числовой шкалы отказалась: уровень проработки определяется как набор требований, определяющий полноту проработки элемента цифровой информационной модели (п. 3.1.14), и обозначается обобщенными буквенными уровнями, привязанными к типу модели и этапу жизненного цикла: A — модель инженерных изысканий, B — проектная модель, C1 — модель для строительства, C2 — исполнительная модель, D — эксплуатационная модель, G — модель сноса и демонтажа (табл. 5.1).

Далее в пособии обозначение LOD используется в значении уровня геометрической детализации (Level of Detail).

В отличие от информационной модели, для геометрической модели, предназначенной для визуализации, достаточно задать только уровень геометрической детализации (Level of Detail) без требований к атрибутивным данным. Единственным атрибутом в этом случае является материал, определяющий внешний вид поверхности. Уровень детализации выбирается по назначению изображения и расстоянию, с которого рассматривается объект (табл. 1.1).

Таблица 1.1

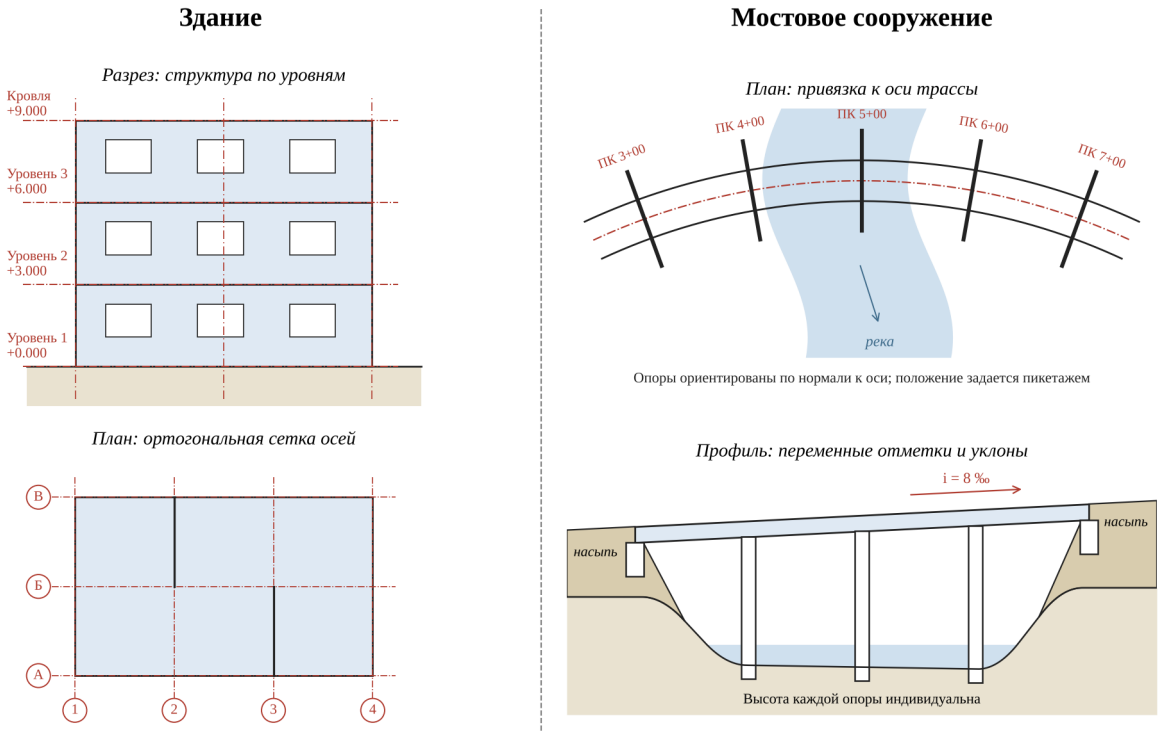
Уровни детализации геометрической модели для визуализации

Уровень	**Что моделируется**	**Пример применения**	**Материалы**
LOD 100	Основные части сооружения в виде упрощенных объемов: пролетные строения, опоры, насыпи	Общий вид транспортной развязки с высоты птичьего полета	Обобщенные: цвет или простая текстура
LOD 200	Основные конструкции с приближенной формой и габаритами: главные балки, опоры, ограждения, опоры освещения	Общий вид эстакады с уровня глаз человека	Основные материалы с текстурами
LOD 300	Видимые элементы с проектной геометрией: ребра жесткости, диафрагмы, подферменники, детали ограждений и освещения	Фрагмент сооружения крупным планом, например пилон или опора	Детально настроенные материалы
LOD 400	Узлы и крепеж: накладки, болты, сварные швы, опорные части, закладные детали	Крупный вид узла с крепежом	Материалы с детальной настройкой фактуры и отражения

В пределах одной модели допускается сочетание разных уровней: например, само сооружение моделируется на уровне LOD 200–300, а окружение — на уровне LOD 100.

1.3. Особенности моделирования мостовых сооружений

Мостовое сооружение является протяженным объектом, геометрия которого определяется плановым и высотным положением трассы, рельефом местности и условиями пересечения препятствия. В связи с этим подход к его моделированию отличается от моделирования здания или иного компактного объекта (рис. 1.2).



Тип объекта	компактный	протяженный (линейный)
Основа привязки	уровни этажей и сетка осей	трасса: план, профиль, пикетаж
Структура модели	этажи, помещения, ограждающие конструкции	мостовое полотно, пролетные строения, опоры, сопряжения
Геометрия	преимущественно ортогональная	криволинейная, с уклонами и переменными отметками
Окружение	участок застройки	рельеф, препятствие, подходы
Основное ПО	общестроительное (п. 1.4)	мостовое и инфраструктурное (п. 1.4)

Рис. 1.2. Сравнение подходов к моделированию здания и мостового сооружения

В состав конструкций мостового сооружения входят элементы мостового полотна, пролетные строения, опоры, сопряжения, элементы подходов, а также, при наличии, различные обустройства и коммуникации. Каждая группа включает большое количество отдельных и повторяющихся

конструкций, поэтому структуру модели целесообразно определить до начала построения геометрии.

Особое значение имеет пространственная привязка элементов: положение продольной оси и разбивочных осей опор, характерные высотные отметки, продольные и поперечные уклоны. При криволинейной трассе или переменном продольном профиле ориентация и положение элементов изменяются по длине сооружения, что существенно усложняет задачу.

Для мостовых конструкций характерно сочетание повторяющихся элементов (продольных и поперечных балок, диафрагм, стоек ограждений, элементов системы водоотвода, столбов освещения) и элементов индивидуальной геометрии (устоев и опор индивидуальной конструкции, участков сопряжения с насыпью). Применение компонентов, семейств и параметрических элементов позволяет избежать многократного независимого моделирования одинаковых объектов.

При подготовке модели для визуализации существенной частью сцены становится прилегающая территория: рельеф, подходные насыпи, дороги, водная поверхность, береговые линии, растительность и существующая застройка, которые показывают сооружение в реальном пространственном контексте. Точность моделирования территории допускается принимать ниже точности основных конструкций, если это не влияет на восприятие проектного решения.

1.4. Существующее программное обеспечение

Программное обеспечение для трехмерного моделирования мостовых сооружений можно систематизировать по двум признакам: по происхождению (зарубежное и российское) и по назначению (универсальное, общестроительное, мостовое и инфраструктурное) (рис. 1.3). Перечень отражает состояние на момент подготовки пособия.

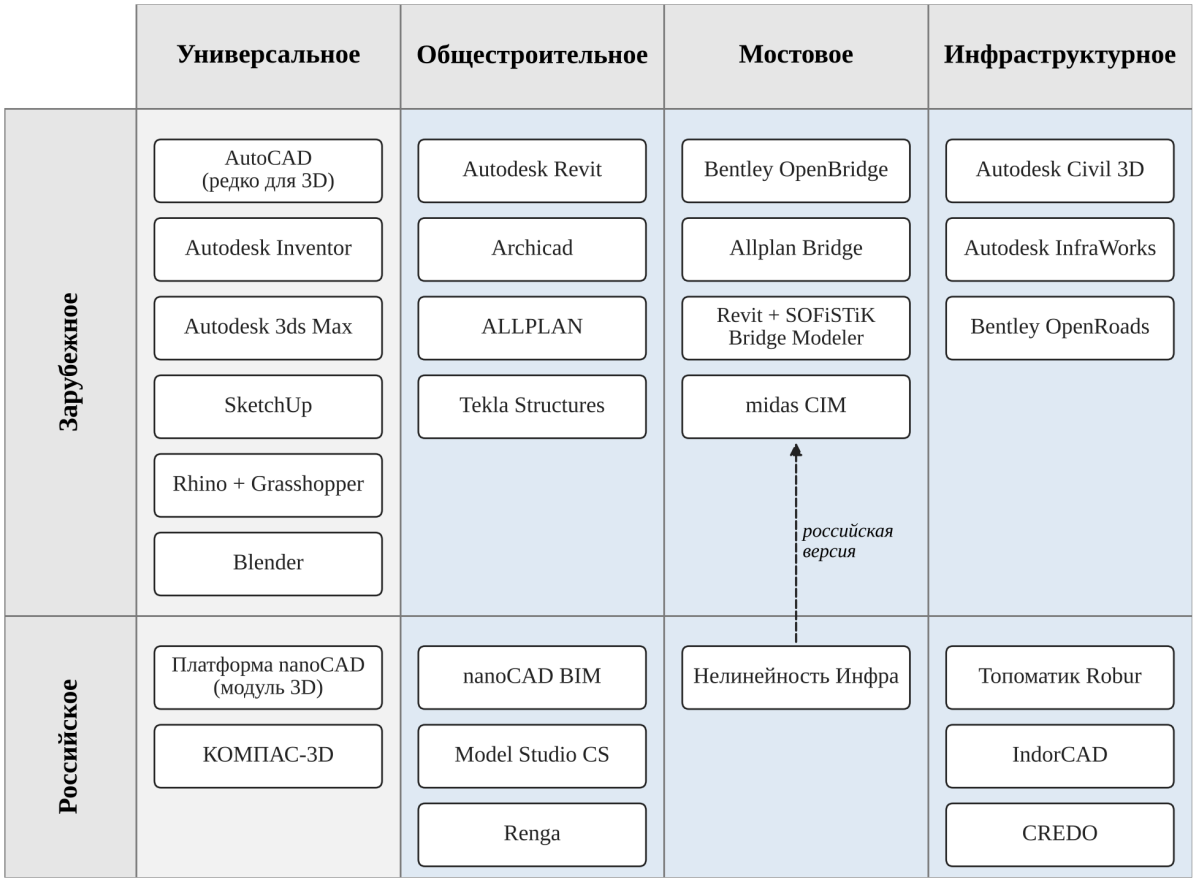


Рис. 1.3. Систематизация программного обеспечения для трехмерного моделирования (цветом выделены группы, относящиеся к BIM)

Универсальные программы — AutoCAD, Autodesk Inventor, Autodesk 3ds Max, SketchUp, Blender, Rhino с модулем визуального программирования Grasshopper, а из российских — Платформа nanoCAD с модулем 3D и КОМПАС-3D — предназначены для геометрического моделирования объектов любого назначения и не являются BIM-системами. Модель в них представляет собой набор тел или поверхностей без строительной семантики; атрибутивные данные либо отсутствуют, либо задаются пользователем вручную. Такие программы удобны для быстрой проработки формы, моделирования элементов сложной геометрии (в том числе параметрического — в Grasshopper) и подготовки моделей для визуализации; Autodesk Inventor и КОМПАС-3D, ориентированные на детали и сборки, применимы при проработке узлов и металлоконструкций. AutoCAD для трехмерного моделирования в настоящее время применяется редко.

Общестроительные программы — Autodesk Revit, Archicad, ALLPLAN, Tekla Structures, а также российские nanoCAD BIM, Model Studio CS и Renga [22] — относятся к BIM-системам. Модель в них формируется из объектов строительных категорий (колонн, балок, плит, арматуры и др.) с параметрами и атрибутами, а планы, разрезы и спецификации связаны с моделью. Эти программы ориентированы прежде всего на здания и строительные конструкции, поэтому мостовые элементы в них моделируются с помощью пользовательских семейств и библиотек.

Мостовые программы — midas CIM [19], Bentley OpenBridge (Modeler, Designer), Allplan Bridge [21], а также надстройка SOFiSTiK Bridge + Infrastructure Modeler для Revit [20] — предназначены для параметрического информационного моделирования непосредственно мостовых сооружений. Геометрия моста строится в них с учетом трассы, продольного профиля, поперечного уклона и косины, а изменение исходной оси автоматически отражается на элементах сооружения. В зависимости от программного комплекса дополнительно поддерживаются моделирование армирования и напрягаемой арматуры, получение чертежей и ведомостей, формирование расчетных моделей и анализ стадий строительства. Из российских решений к этой группе относится Нелинейность Инфра, основанная на разработках midas CIM.

Инфраструктурные программы — Autodesk Civil 3D, Autodesk InfraWorks и Bentley OpenRoads, а также российские Топоматик Robur, IndorCAD и CREDO [23] — предназначены для работы с цифровой моделью местности, трассой, продольным профилем, поперечниками и коридорами автомобильных дорог и для формирования информационных моделей линейных объектов. Для мостового проектирования они важны как источник геометрической основы сооружения — трассы и рельефа — и как средство моделирования подходов; InfraWorks, кроме того, применяется для концептуального моделирования и представления объекта в окружении.

В настоящем пособии подробно рассматриваются SketchUp и Autodesk Revit. SketchUp ориентирован на быстрое геометрическое моделирование: простота инструментария позволяет за короткое время подготовить модель для демонстрации проектного решения и визуализации, однако возможности информационного наполнения и автоматизации в нем существенно ограничены. Revit относится к системам информационного моделирования; его основными особенностями являются объектный принцип построения модели, использование параметров и семейств, возможность моделирования конструкций и армирования, а также связь трехмерной модели с планами, фасадами, разрезами и спецификациями. Рассматриваемые приемы — декомпозиция модели, организация ее структуры, подготовка к экспорту, настройка материалов, освещения и камер — не зависят от конкретной программы и переносятся на отечественные системы, в том числе Renga, nanoCAD BIM и Model Studio CS.

На практике эффективен не выбор одной универсальной программы, а последовательный рабочий процесс, в котором каждая система применяется для тех задач, для которых она наиболее удобна. Например, трасса и рельеф подготавливаются в Civil 3D или Robur, модель сооружения — в Revit или специализированной мостовой системе, а визуализация выполняется в отдельной программе (см. гл. 2).

1.5. Форматы обмена и передачи данных

При использовании нескольких программ возникает необходимость передачи между ними геометрических и атрибутивных данных. Для этого применяются собственные (нативные) форматы программ и универсальные форматы обмена. Собственный формат наиболее полно сохраняет структуру модели, но предназначен прежде всего для работы в исходной программе; при передаче через универсальный формат часть данных может быть преобразована или утрачена.

Формат IFC [5, 10] предназначен для обмена информационными моделями и позволяет передавать, помимо геометрии, структуру объектов и

часть их параметров. Форматы DWG и DXF применяются преимущественно для передачи чертежей и геометрических подложек, а форматы FBX, OBJ, DAE, glTF и др. — для передачи трехмерной геометрии в программы визуализации. Основные форматы, сгруппированные по назначению, приведены на рис. 1.4.

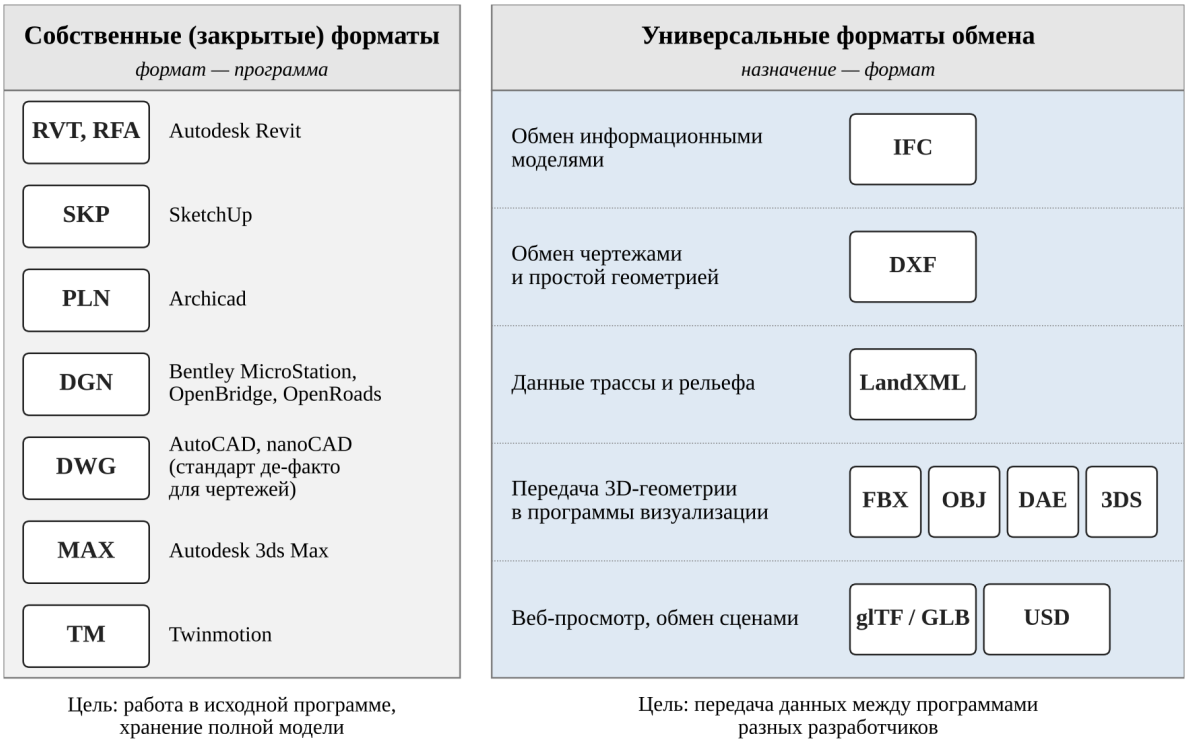


Рис. 1.4. Собственные и универсальные форматы данных

Выбор формата определяется составом данных, которые необходимо сохранить. Для визуализации основное значение имеют геометрия, разделение объекта на элементы и материалы; для совместной работы с информационной моделью дополнительно важны категории, параметры, наименования и структура элементов. При этом один и тот же формат может по-разному интерпретироваться различными программами, поэтому результат передачи всегда требует проверки (см. п. 1.6).

1.6. Рекомендации по подготовке моделей для возможности обмена

Перед передачей модели необходимо определить назначение экспорта. Общие правила обмена между информационными моделями и моделями,

используемыми в программных комплексах, установлены СП 331.1325800.2017 [4]. Если для дальнейшей работы требуется только часть модели, целесообразно подготовить отдельный вид или копию, содержащую только необходимые элементы; ненужные подложки, вспомогательные построения и дублирующиеся объекты при этом удаляются или скрываются. Упрощение не должно затрагивать геометрию основных конструкций.

Структура модели должна оставаться понятной после импорта: основные конструктивные части рекомендуется выделять в самостоятельные объекты с последовательными наименованиями. Объединение всего сооружения в один объект затрудняет назначение материалов, скрытие отдельных элементов и редактирование сцены.

Материалы рекомендуется назначать в исходной модели. Даже если их окончательный вид будет настраиваться в программе визуализации, предварительное разделение поверхностей на бетон, металл, асфальтобетон, грунт, воду и другие материалы существенно ускоряет настройку сцены.

Особое внимание следует уделять единицам измерения и системе координат, в особенности для протяженных сооружений и моделей, совмещаемых с рельефом или другими исходными данными. После экспорта модель открывается в программе назначения и проверяется целиком: масштаб, положение и ориентация осей, взаимное положение элементов, материалы, отсутствие пропавших или искаженных объектов. Для сложных моделей целесообразно предварительно выполнить пробный экспорт небольшого фрагмента.

Контрольные вопросы

1. Чем геометрическая модель отличается от информационной?
2. Почему армирование является значимым компонентом информационной модели и не требуется в модели для визуализации?

3. От чего зависит требуемая степень информационного наполнения модели?
4. Чем различаются понятия Level of Development и Level of Detail? Что обозначают LOI и LOA?
5. Как обозначаются уровни проработки в СП 333.1325800.2017 и СП 333.1325800.2020?
6. Какой уровень детализации геометрической модели следует принять для общего вида с высоты птичьего полета, вида с уровня глаз человека и крупного плана узла?
7. Какие особенности мостового сооружения как протяженного объекта влияют на подход к моделированию?
8. Какие элементы входят в состав конструкций мостового сооружения? Почему структуру модели определяют до начала построения?
9. По каким признакам систематизируется программное обеспечение для моделирования мостовых сооружений? Приведите примеры программ каждой группы.
10. Какие группы программ относятся к BIM и в чем это проявляется?
11. Чем собственный формат отличается от универсального?
12. Какие данные передаются в форматах IFC, DWG, FBX и OBJ и для каких задач применяется каждый из них?
13. Как подготовить модель к передаче в другую программу?
14. Что необходимо проверить после передачи модели?

2. Визуализация моделей мостовых сооружений

Цель главы — сформировать представление о видах визуализации, способах получения изображений и программах визуализации. В результате изучения главы обучающийся должен:

- знать классификацию визуализаций по назначению, способу представления и способу получения изображения;
- ориентироваться в программах визуализации и областях их применения;
- уметь сформулировать требования к визуализации мостового сооружения и выбрать подходящий инструмент.

2.1. Определение визуализации

Под визуализацией в настоящем пособии понимается процесс получения изображений или видеоматериалов на основе трехмерной модели проектируемого сооружения. В ходе этого процесса геометрическая модель дополняется материалами, освещением, элементами окружающей среды и настройками камеры.

Можно условно выделить техническую и презентационную визуализацию. В первом случае основная задача состоит в том, чтобы наглядно показать устройство объекта, его форму и взаимное положение элементов. Во втором случае дополнительное внимание уделяется восприятию сооружения в окружающей среде, композиции кадра, освещению и общей выразительности изображения. На рис. 2.1 для сравнения показаны вид рабочей модели и выполненная на ее основе презентационная визуализация.

По способу представления визуализация может быть статической и динамической. Статическая визуализация представляет собой отдельное изображение выбранного ракурса. Динамическая визуализация выполняется в форме видеоролика, последовательности кадров или интерактивного просмотра модели.

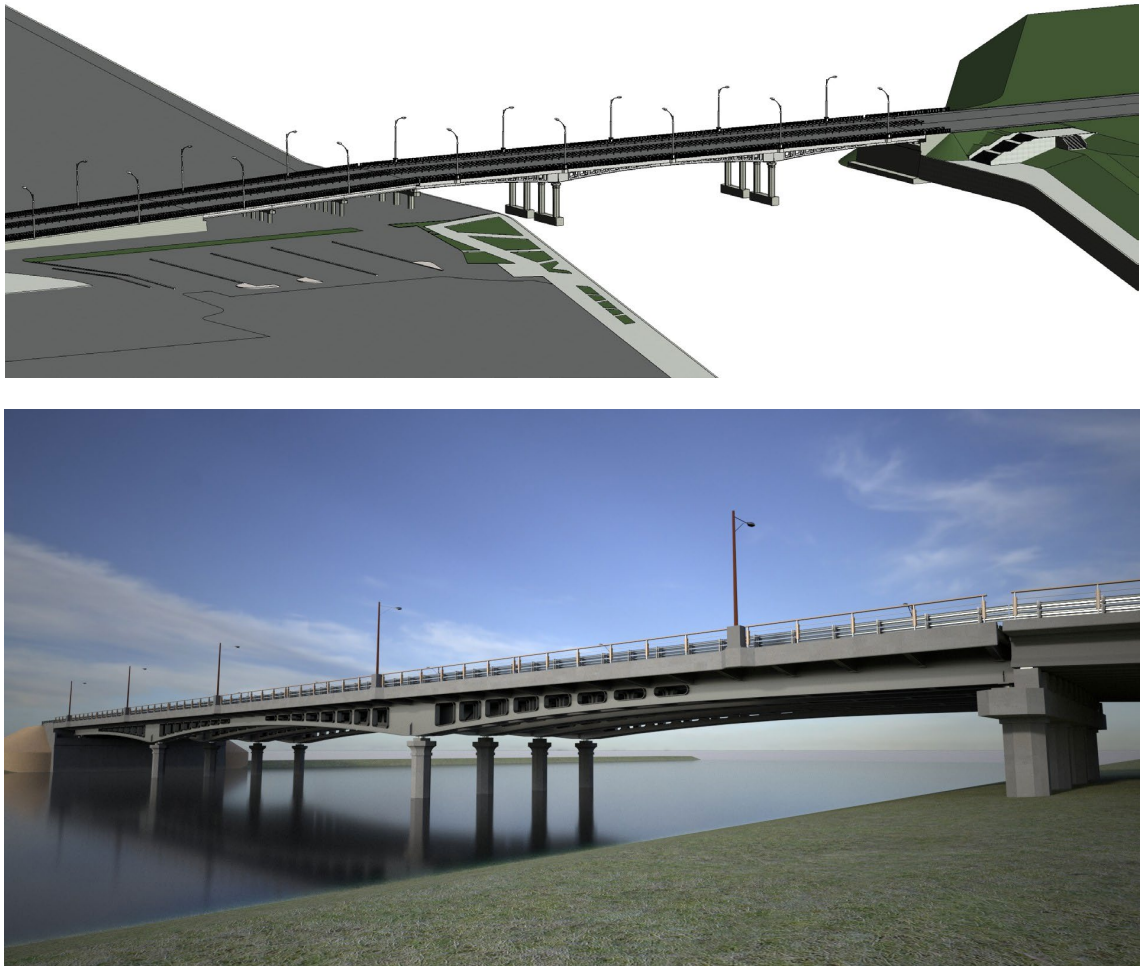


Рис. 2.1. Вид рабочей модели и презентационная визуализация (вверху — модель в Revit, внизу — рендер V-Ray)

Для инженерного проекта качество визуализации определяется не только реалистичностью изображения. Важнее, чтобы полученный материал правильно передавал проектное решение, сохранял масштаб и пропорции объекта и помогал понять его основные особенности.

По способу получения изображения визуализация может быть физически корректной (основанной на физическом расчете освещения) или нейросетевой (основанной на данных). В первом случае кадр рассчитывается на основе моделирования распространения света и его взаимодействия с материалами; расчет может выполняться предварительно (статический рендеринг, как правило более качественный и детальный) или в режиме реального времени (более быстрый, с упрощенным расчетом освещения). Во втором случае изображение получается или преобразуется нейросетевыми

методами на основе обработки данных — обучающих выборок и исходных изображений — без физического расчета освещения.

2.2. Существующее программное обеспечение

Для визуализации трехмерных моделей используются как встроенные средства программ моделирования, так и специализированные системы рендеринга и визуализации в реальном времени. Выбор программы зависит от требуемого качества изображения, необходимости создавать видеоролики и интерактивные материалы, сложности окружения и времени, доступного для подготовки сцены.

Программы визуализации удобно группировать по способу получения изображения и по ориентированности на общую 3D-графику или на архитектуру и строительство (рис. 2.2).

	Программы общего назначения (3D-графика)	**Ориентированные на архитектуру и строительство**
Предварительный расчет кадра (физический расчет)	V-Ray (модули для SketchUp, Revit, 3ds Max и др.) Blender (Cycles)	Autodesk Raytracer (встроен в Revit) CineRender (встроен в Archicad)
Визуализация в реальном времени (физический расчет)	Unreal Engine Blender (Eevee)	Twinmotion (на базе Unreal Engine) Lumion Enscape D5 Render
Нейросетевая обработка (на основе данных)	ChatGPT Images Nano Banana (Gemini) Midjourney Stable Diffusion Kandinsky YandexART	—

Встроенные средства визуализации есть в большинстве программ моделирования (Revit, Archicad, Renga, nanoCAD и др.); их возможности, как правило, ограничены

Рис. 2.2. Систематизация программ визуализации

К системам предварительного расчета кадра относится V-Ray — система физически корректного рендеринга с широкими возможностями настройки материалов и освещения. К системам визуализации в реальном времени относятся ориентированные на архитектурно-строительные задачи Twinmotion, Lumion, Enscape и D5 Render, а также Unreal Engine, применяемый для сложных интерактивных сцен и нестандартных сценариев, но требующий более длительного освоения. Blender — бесплатная программа, сочетающая инструменты моделирования и оба способа расчета (Cycles и Eevee), однако обычно требующая большего объема ручной настройки. Ряд современных систем визуализации в реальном времени основан на технологиях игровых движков: например, Twinmotion построен на Unreal Engine, изначально разработанном для компьютерных игр. Отдельную группу образуют нейросетевые инструменты, рассматриваемые в п. 4.3.

Встроенные средства визуализации — реалистичные режимы отображения, визуальные стили, а иногда и собственные модули рендеринга — имеются в большинстве программ моделирования, как зарубежных (Revit, Archicad), так и российских (Renga, nanoCAD). Они удобны для оперативной проверки модели и получения рабочих видов без экспорта, однако по возможностям настройки материалов, освещения и наполнения сцены, как правило, существенно уступают специализированным системам визуализации.

В настоящем пособии подробно рассматриваются V-Ray и Twinmotion. V-Ray выбран как пример системы, позволяющей получать качественные статические изображения с детальной настройкой материалов, освещения, отражений и параметров камеры. Он хорошо подходит для подготовки итоговых иллюстраций, когда важны контроль над отдельными свойствами сцены и качество конечного изображения.

Twinmotion рассматривается как инструмент визуализации в реальном времени. Его преимущество заключается в высокой скорости подготовки сцены, простой работе с материалами и окружением, наличии библиотек

растительности, людей, транспорта и других объектов, а также возможности создавать не только статические изображения, но и видеоролики, панорамы и интерактивные презентации. Для мостовых сооружений особенно полезна возможность быстро сформировать окружающую территорию и оценивать результат непосредственно в процессе настройки сцены.

Revit также имеет собственные средства визуализации: реалистичный режим отображения и встроенную систему рендеринга Autodesk Raytracer, а также возможность передачи данных в облачный рендеринг (в поздних версиях может отсутствовать). Эти инструменты позволяют получать изображения непосредственно из рабочей модели без промежуточного экспорта. Однако для задач презентационной визуализации их быстродействие, удобство итеративной настройки сцены и возможности работы с окружением существенно уступают специализированным программам. Поэтому при подготовке итоговых рендеров и видеоматериалов обычно эффективнее передавать модель из Revit в отдельное визуализационное ПО. Области применения рассмотренных инструментов сопоставлены на рис. 2.3.

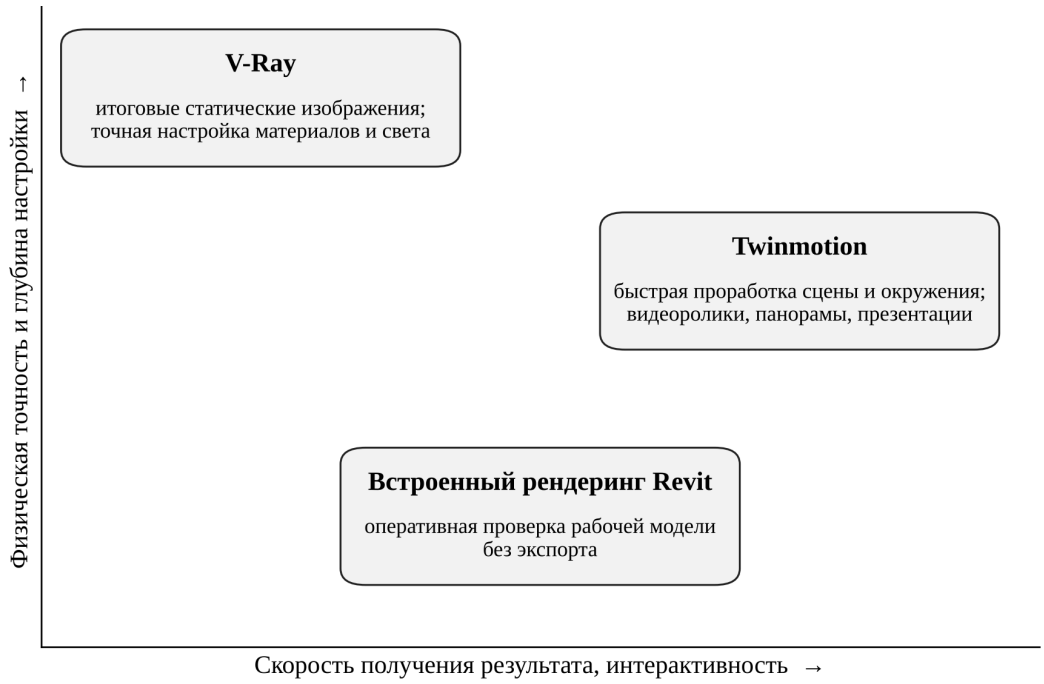


Рис. 2.3. Области применения V-Ray, Twinmotion и встроенного рендеринга Revit

2.3. Рекомендации по выполнению визуализаций

При выполнении визуализации мостового сооружения рекомендуется:

- до начала работы определить назначение изображения или видеоролика: от него зависят ракурсы, детализация окружения и затраты времени на настройку сцены;
- принимать уровень детализации модели по наиболее близкому ракурсу (см. табл. 1.1): для общих видов достаточно LOD 100–200, для видов с уровня глаз — LOD 200–300, для крупных планов узлов — LOD 300–400;
- сохранять проектные размеры, пропорции и взаимное положение конструкций; визуализация не должна скрывать геометрические ошибки модели;
- подбирать материалы с учетом реальных свойств поверхностей — отражения, шероховатости, масштаба текстуры, — избегая чрезмерно насыщенных цветов;
- использовать окружение (рельеф, воду, дороги, растительность, застройку) для передачи масштаба и контекста, не допуская, чтобы второстепенные объекты отвлекали внимание от сооружения;
- сочетать общие виды и близкие ракурсы, а для сооружений, воспринимаемых водителями и пешеходами, использовать виды с соответствующей высоты наблюдения;
- выбирать освещение, при котором тени выявляют пространственную форму: для мостовых сооружений часто эффективен боковой или диагональный свет;
- сохранять единый подход к материалам, освещению и обработке в пределах серии изображений;
- ограничивать постобработку, в том числе нейросетевую, коррекцией экспозиции, контраста и отдельных недостатков без изменения конструкции;

– в видеоролике задавать плавное движение камеры и выдерживать ключевые ракурсы в течение времени, достаточного для их восприятия.

Качественная визуализация инженерного проекта должна быть прежде всего понятной, последовательной и достоверной: ее задача — дополнить проектную документацию и показать пространственные особенности сооружения, которые сложнее воспринимать по чертежам.

Обобщенная последовательность получения визуальных материалов — от модели сооружения и окружения до готовых изображений и видеороликов — показана на рис. 2.4.



Рис. 2.4. Обобщенная схема получения визуальных материалов

Контрольные вопросы

1. Чем техническая визуализация отличается от презентационной?
2. Чем различаются статическая и динамическая визуализация?
3. Чем физически корректная визуализация отличается от нейросетевой? Какие разновидности физически корректной визуализации существуют?
4. По каким признакам группируются программы визуализации? Приведите примеры программ каждой группы.
5. Каковы области применения V-Ray, Twinmotion и встроенного рендеринга Revit?
6. Каковы возможности и ограничения встроенных средств визуализации программ моделирования?
7. Как выбрать уровень детализации модели в зависимости от ракурса?
8. Какие требования предъявляются к материалам, окружению, ракурсам и освещению при визуализации мостового сооружения?
9. Из каких этапов состоит получение визуальных материалов? В каких случаях рекомендуется обработка результатов нейросетями?

3. Инструменты для моделирования мостовых сооружений

Цель главы — освоить приемы построения модели мостового сооружения в SketchUp и Revit на примере реального объекта. В результате изучения главы обучающийся должен:

– знать принципы организации геометрии и структуры модели в SketchUp и Revit;
– уметь выполнять декомпозицию сооружения и строить модель с требуемым уровнем детализации;
– уметь подготавливать модель к передаче в программы визуализации.

Последовательность работы, рассматриваемая в главах 3 и 4, показана на рис. 3.1: модель, построенная в SketchUp, визуализируется в V-Ray, а модель, построенная в Revit, — в Twinmotion с последующей обработкой изображений нейросетевыми инструментами. Обобщенная схема получения визуальных материалов приведена в п. 2.3 (рис. 2.4).

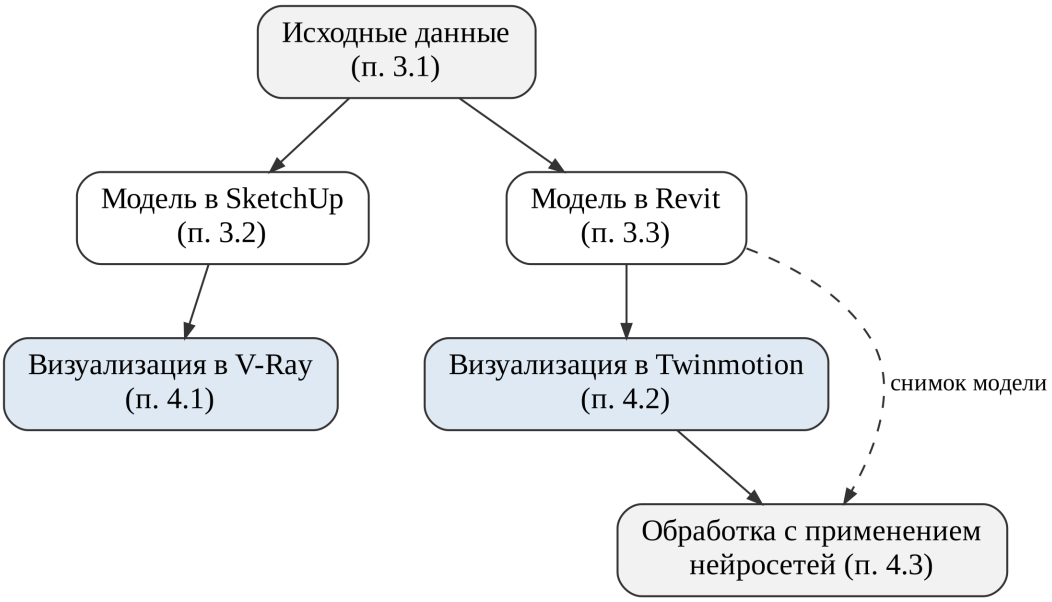


Рис. 3.1. Последовательность работы, рассматриваемая в главах 3 и 4

3.1. Описание примера для моделирования

В качестве примера в пособии рассматривается мостовое сооружение, разработанное в рамках выпускной квалификационной работы[1].

Мостовое сооружение запроектировано по схеме 42,0+63,0+42,0 м. Пролетное строение моста — переменной высоты, сталежелезобетонное балочное неразрезное, индивидуальной конструкции. В поперечном сечении расположены четыре коробчатые балки, объединенные между собой поперечными балками и системой связей, а также железобетонной плитой проезжей части, включенной в совместную работу с главными балками при помощи гибких упоров. В стенках главных балок предусмотрена перфорация.

На одном из подходов устроен трехпролетный эстакадный участок из сборных железобетонных балок длиной 21,0 м.

Крайние опоры массивные необсыпные индивидуального проектирования из монолитного железобетона. Промежуточные опоры стоечного типа из монолитного железобетона (рис. 3.2–3.4).

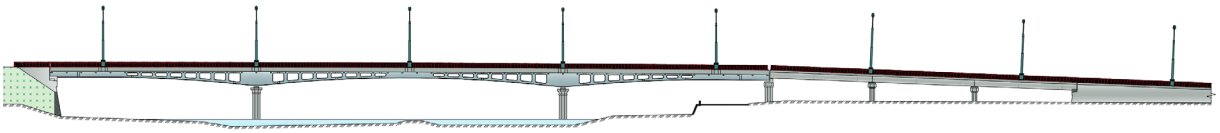


Рис. 3.2. *Фасад мостового сооружения*

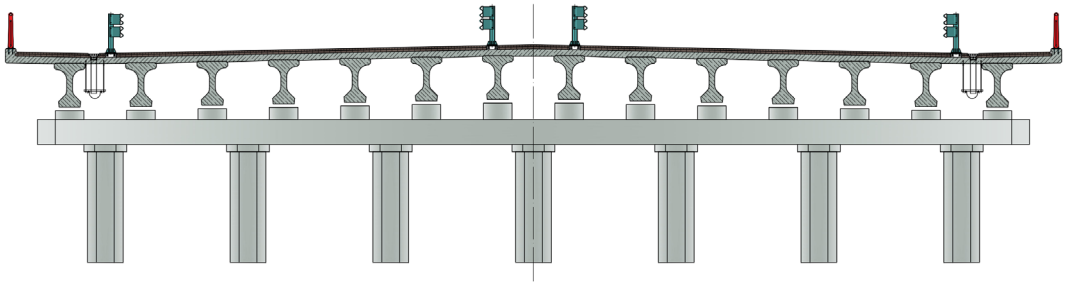


Рис. 3.3. *Поперечное сечение эстакадного участка (фундамент опоры условно не показан)*

[1] Гуманюк И.А. Выпускная квалификационная работа / дипл. рук. Д.А. Ярошутин ; СПбГАСУ, кафедра транспортных систем и дорожно-мостового строительства. — СПб., 2026.

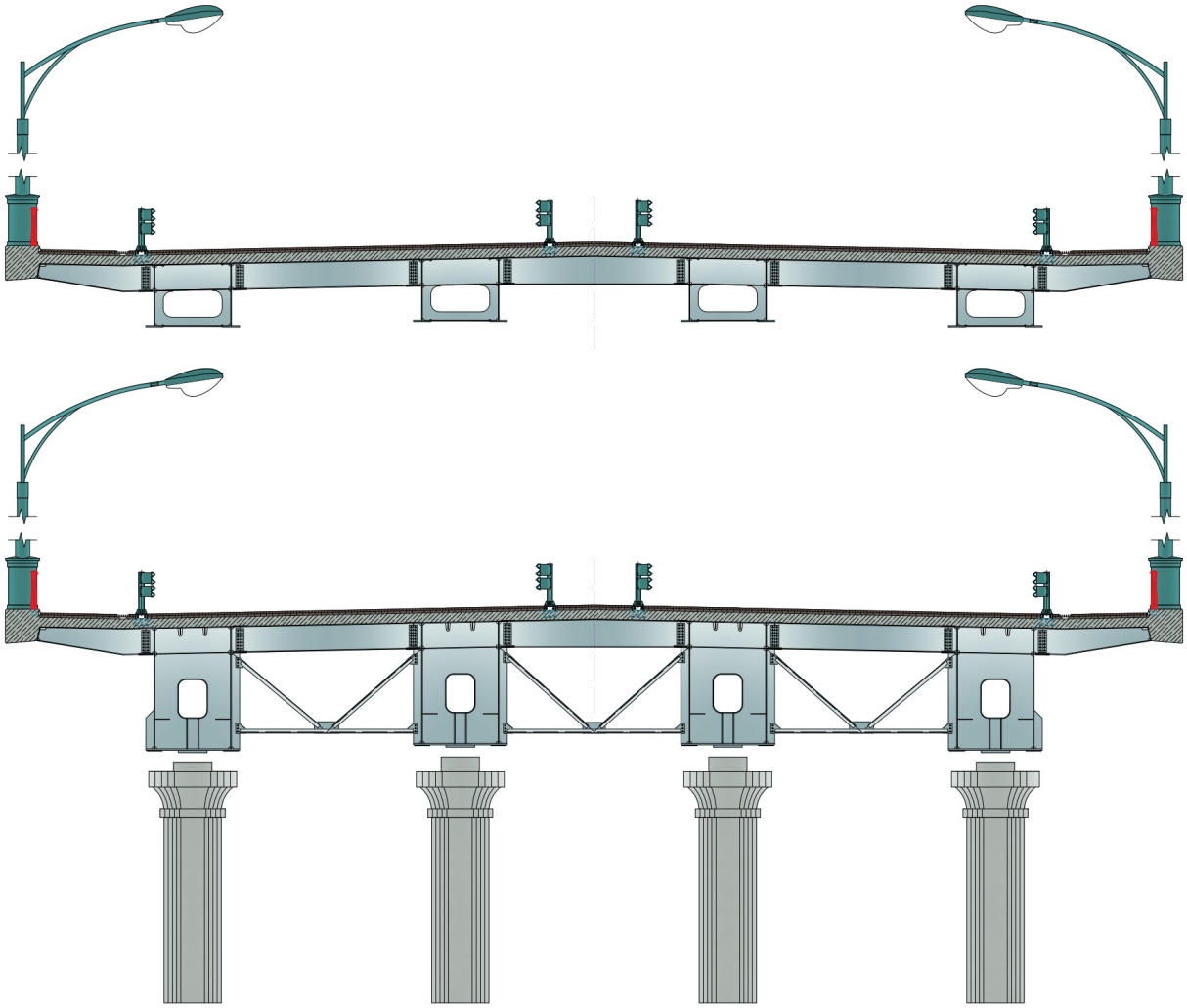


Рис. 3.4. *Поперечные сечения основного пролетного строения (фундамент опоры условно не показан)*

3.2. Моделирование мостового сооружения в SketchUp

3.2.1. Краткая информация о программе

SketchUp представляет собой программный комплекс для трехмерного моделирования и подготовки графических материалов [15]. В состав программного пакета входят SketchUp, LayOut и Style Builder (рис. 3.5).

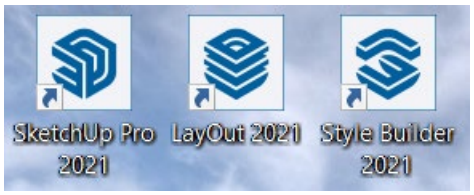


Рис. 3.5. Программы пакета SketchUp

SketchUp предназначен для создания трехмерных моделей сооружений, конструкций, элементов благоустройства, ландшафта и других объектов. LayOut позволяет формировать листы и графическую документацию на основе модели, в том числе с использованием формата DWG. Style Builder предназначен для создания пользовательских эскизных стилей отображения линий и контуров. Следует учитывать, что в актуальных версиях Style Builder не входит в комплект поставки SketchUp и не поддерживается разработчиком.

В настоящем учебно-методическом пособии рассматривается непосредственно SketchUp как инструмент геометрического моделирования мостовых сооружений и подготовки модели к дальнейшей визуализации.

К основным особенностям SketchUp, значимым для учебного моделирования, относятся:

- относительно простой интерфейс и небольшое количество базовых команд, что позволяет быстро освоить основные приемы работы;
- высокая скорость построения и редактирования геометрии за счет простого набора инструментов;
- умеренные требования к аппаратным ресурсам при работе с моделями небольшой и средней сложности; помимо настольной версии, доступны веб-версия и версия для iPad;
- поддержка распространенных форматов обмена трехмерными данными, включая 3DS, OBJ и IFC;
- наличие библиотек компонентов и материалов, а также возможность повторного использования собственных элементов в других проектах;
- возможность расширения базового набора функций с помощью дополнительных модулей и пользовательских инструментов.

Для задач учебного проектирования SketchUp удобен прежде всего как средство быстрого построения наглядной геометрической модели. Такая модель может использоваться для проверки общего вида проектного

решения, подготовки иллюстраций и последующей передачи в программы визуализации.

Далее рассматриваются устройство рабочего пространства, принципы построения геометрии и основные приемы организации модели в SketchUp.

3.2.2. Архитектура программы и принципы работы

При запуске SketchUp выбирается рабочий шаблон с необходимой системой единиц. Для рассматриваемого примера удобно использовать миллиметры. В дальнейшем единицы измерения могут быть изменены через «Окно» → «Данные модели» (рис. 3.6).

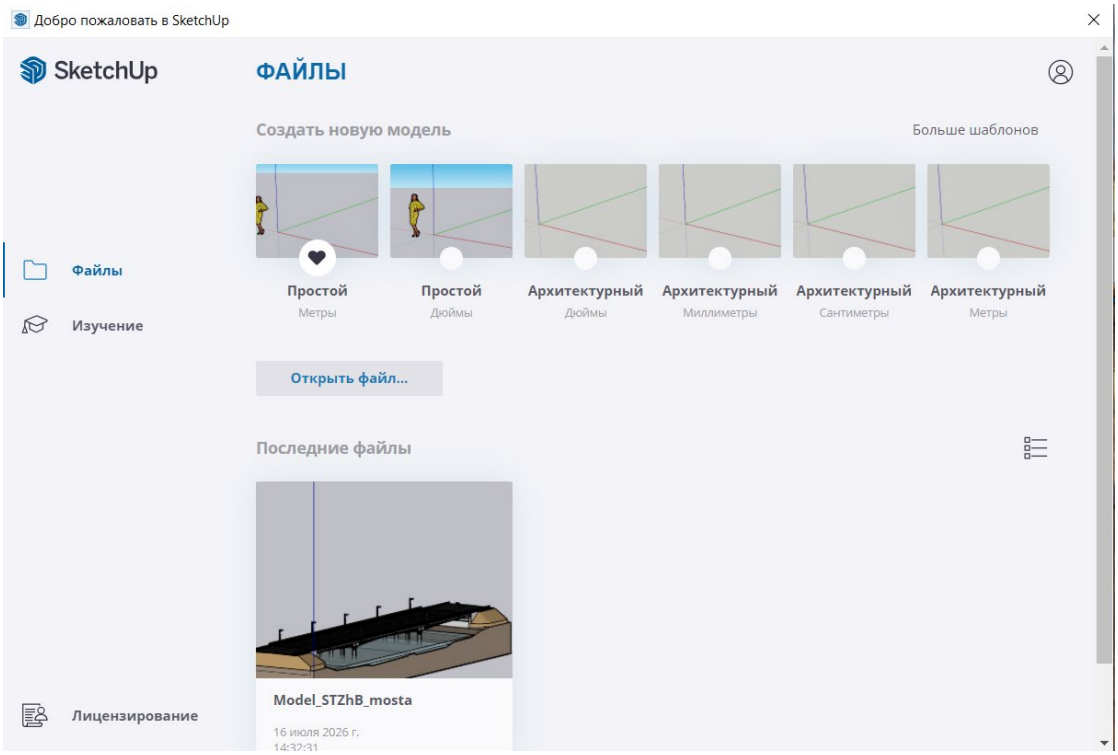


Рис. 3.6. Приветственное окно

Рабочее пространство SketchUp включает область модели, верхнюю строку команд, панели инструментов и правый лоток с параметрами и служебной информацией (рис. 3.7).

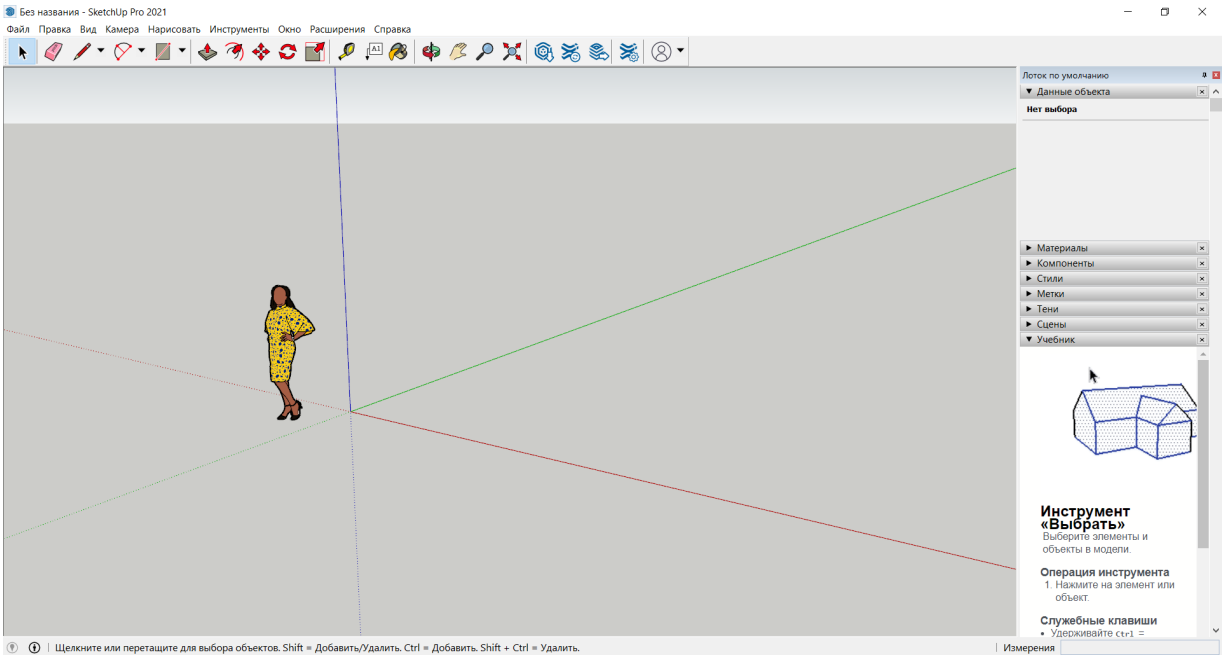


Рис. 3.7. Интерфейс без настройки

Перед началом моделирования целесообразно настроить интерфейс таким образом, чтобы основные инструменты и сведения о модели были доступны без дополнительных переходов между окнами.

1. Состав панелей инструментов настраивается через «Вид» → «Панели инструментов». Для работы с рассматриваемой моделью удобно вывести «Большой набор инструментов», «Инструменты для работы со сплошными объектами» и «Сечение». Панели могут быть размещены в любой удобной части рабочего окна.
2. Правый лоток настраивается через «Окно» → «Новый лоток». Для моделирования мостового сооружения целесообразно добавить вкладки «Данные объекта», «Материалы», «Метки», «Сцены» и «Иерархия». В открывшемся окне лотку присваивается название, после чего нажимается кнопка «Добавить» (рис. 3.8).

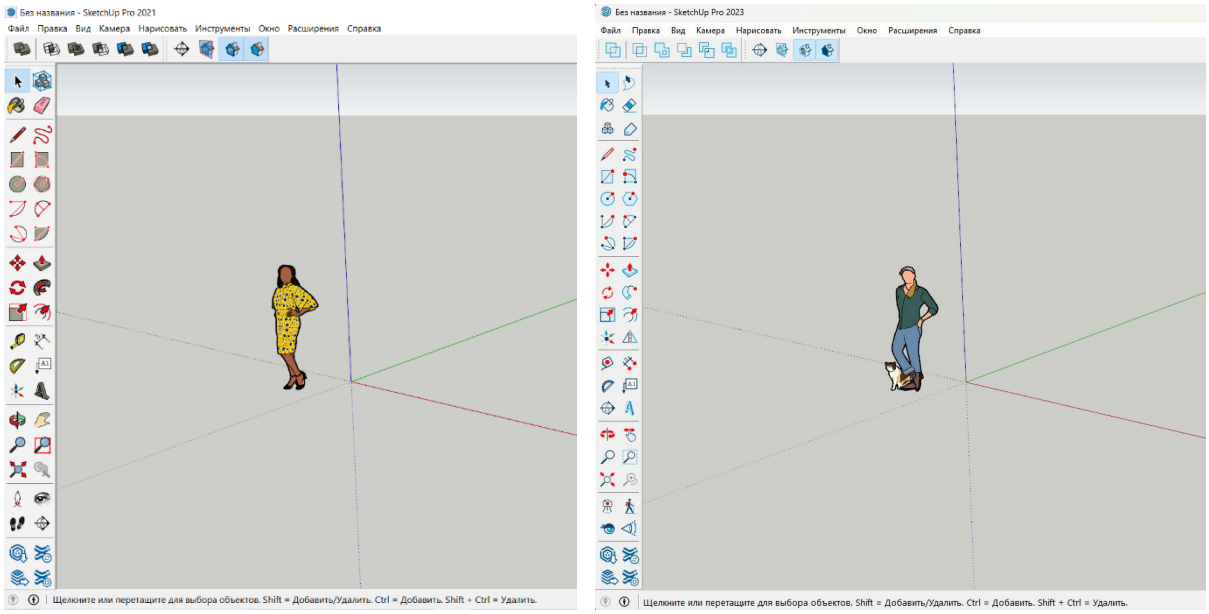


Рис. 3.8. Интерфейс с настройкой (более старая и более новая версия соответственно; разница только во внешнем виде иконок)

Стандартный набор инструментов SketchUp может быть дополнен расширениями. Они используются в тех случаях, когда базовых команд недостаточно для выполнения повторяющихся или специализированных операций.

1. Официальным каталогом расширений является Extension Warehouse, доступный непосредственно из программы через меню «Расширения». Другой распространенной площадкой является SketchUcation. Для загрузки инструментов требуется учетная запись на сайте.
2. Для работы с каталогом расширений может быть установлен модуль SketchUcation Tools, загруженный с сайта SketchUcation.
3. Установка локального расширения выполняется через «Расширения» → «Диспетчер расширений» → «Установить расширение». После выбора файла SketchUcation Tools в интерфейсе появляется отдельная панель:



4. После установки SketchUcation Tools доступ к каталогу расширений выполняется через соответствующую панель. Каталог (ExtensionStore)

открывается щелчком по красному значку панели, а поиск — через меню каталога (кнопка с тремя полосками) → «Search». Поиск позволяет подобрать инструмент по названию или назначению (рис. 3.9).

5. В качестве примера можно использовать расширение Mirror, предназначенное для зеркального копирования геометрии. После выбора расширения оно устанавливается из каталога и становится доступным в рабочем окне SketchUp. Для этого название инструмента вводится в строку поиска, после чего нажимается кнопка «Install».
6. После установки команда расширения появляется в интерфейсе программы и может использоваться наравне со стандартными инструментами.

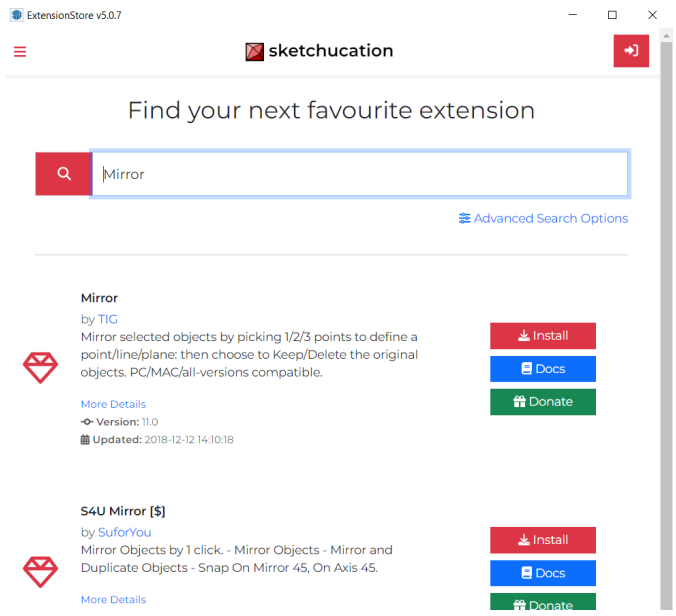
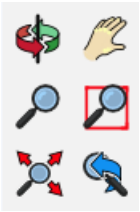


Рис. 3.9. Поиск и установка расширения Mirror в каталоге SketchUcation

Навигация в пространстве модели выполняется главным образом с помощью мыши и стандартных инструментов управления камерой.

– При зажатом колесе мыши камера вращается вокруг модели; сочетание колеса мыши с клавишей Shift используется для панорамирования. Прокрутка колеса изменяет масштаб отображения.

– Дополнительные инструменты навигации позволяют увеличивать отдельную область, подбирать масштаб по модели и возвращаться к предыдущему положению камеры:



– Для инженерного моделирования часто удобна параллельная проекция, при которой отсутствуют перспективные искажения. Режим включается через «Камера» → «Параллельная проекция».

Геометрия SketchUp строится относительно трех взаимно перпендикулярных осей. Цвет осей используется программой как визуальная подсказка при построении и перемещении элементов.

Для построения исходной геометрии используется инструмент «Линия». При проведении отрезка SketchUp автоматически распознает направления, параллельные основным осям или существующим ребрам: отрезок окрашивается в цвет соответствующей оси (красный, зеленый или синий), а при параллельности существующему ребру — в пурпурный цвет. Направление также можно зафиксировать клавишами со стрелками: «↑» — синяя ось, «←» — зеленая, «→» — красная, «↓» — направление, параллельное или перпендикулярное ребру. После замыкания контура программа формирует плоскую грань (рис. 3.10).

Инструментом «Выдавливание» из плоской грани получают объем. При этом созданная геометрия по умолчанию остается набором отдельных ребер и граней, которые можно выделять, перемещать и удалять по отдельности; удаленную грань восстанавливают, проведя линию по любому ребру ее контура. Инструмент «Переместить» позволяет изменять положение выбранных элементов; при перемещении отдельных вершин, ребер или граней форма объекта перестраивается (рис. 3.11).

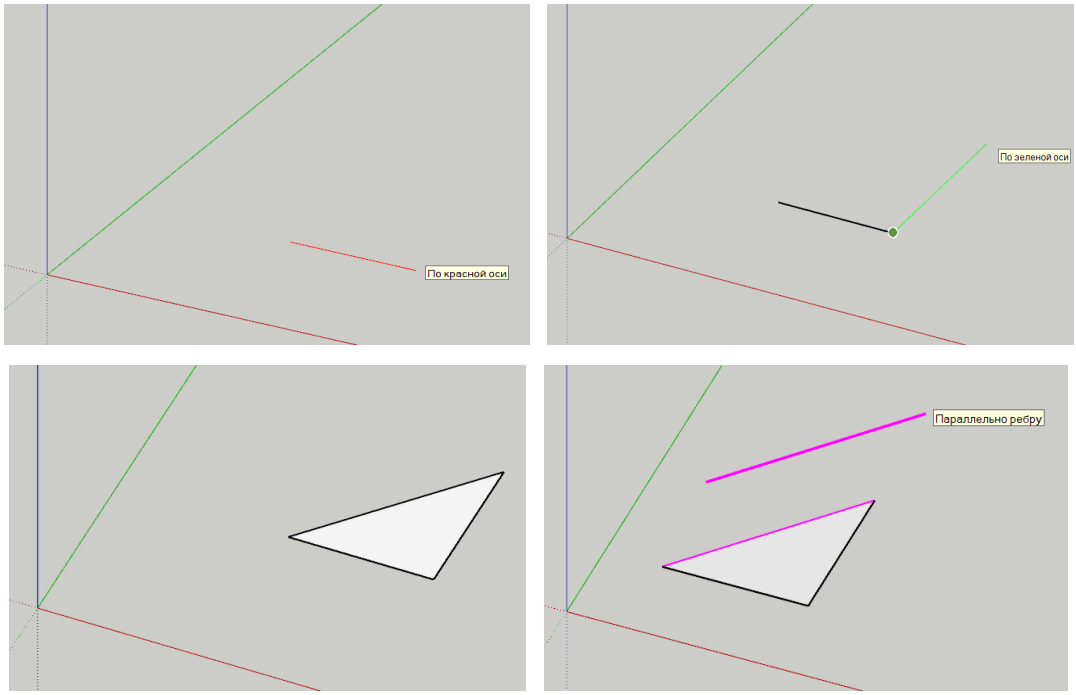


Рис. 3.10. Построение контура инструментом «Линия»: привязка к осям и параллельно существующему ребру (вверху — привязка к осям, внизу — замыкание контура и привязка параллельно ребру)

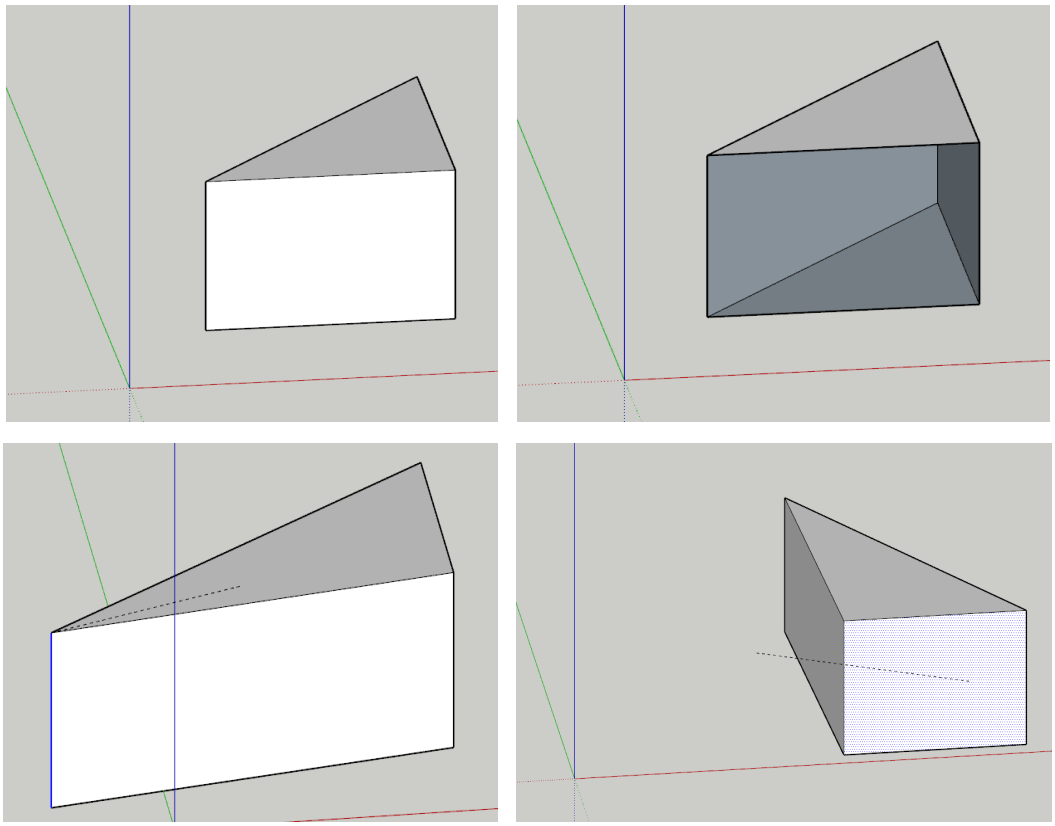


Рис. 3.11. Выдавливание грани и перемещение отдельных элементов геометрии (вверху — выдавливание, внизу — перемещение отдельных ребер и граней)

Принципиальная особенность SketchUp состоит в том, что базовая геометрия образуется ребрами и гранями, а не самостоятельными сплошными телами. Соприкасающиеся ребра и грани взаимодействуют между собой, поэтому изменение одной части может повлиять на соседнюю геометрию (рис. 3.12).

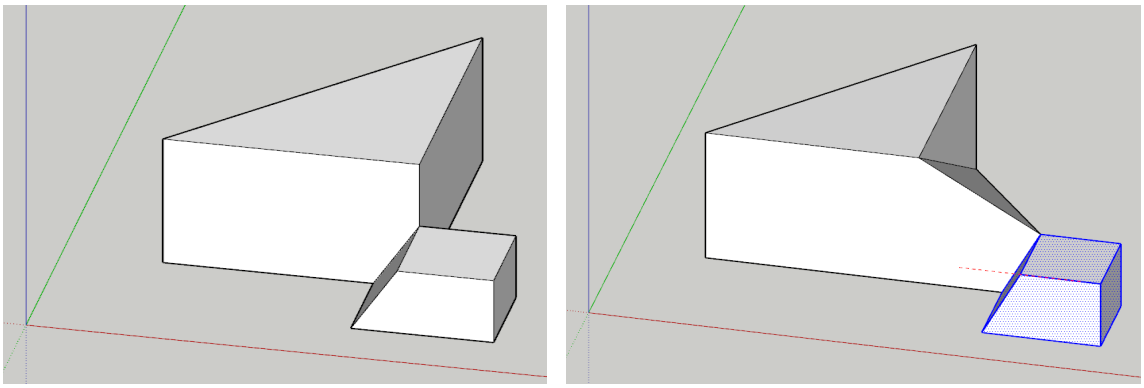


Рис. 3.12. Взаимодействие соприкасающейся геометрии при перемещении (слева — исходное положение, справа — результат перемещения)

Для изоляции геометрии используются группы. Объединение ребер и граней в группу позволяет перемещать и редактировать объект независимо от соседних элементов модели. Группа создается из выделенной геометрии командой контекстного меню «Создать группу».

Криволинейные контуры также формируются стандартными инструментами, например командой «Окружность». Следует учитывать, что в SketchUp окружности и дуги представлены набором прямолинейных сегментов. Количество сегментов можно изменить в «Данных объекта»: увеличение их числа делает контур визуально более плавным, но не превращает его в математически точную кривую (рис. 3.13). Плоскость, в которой строится окружность, также можно зафиксировать клавишами со стрелками.

3.2.3. Структура модели

Работа в SketchUp основана на построении ребер и граней и их объединении в группы и компоненты; на этом строится и структура модели мостового сооружения (п. 3.2.3).

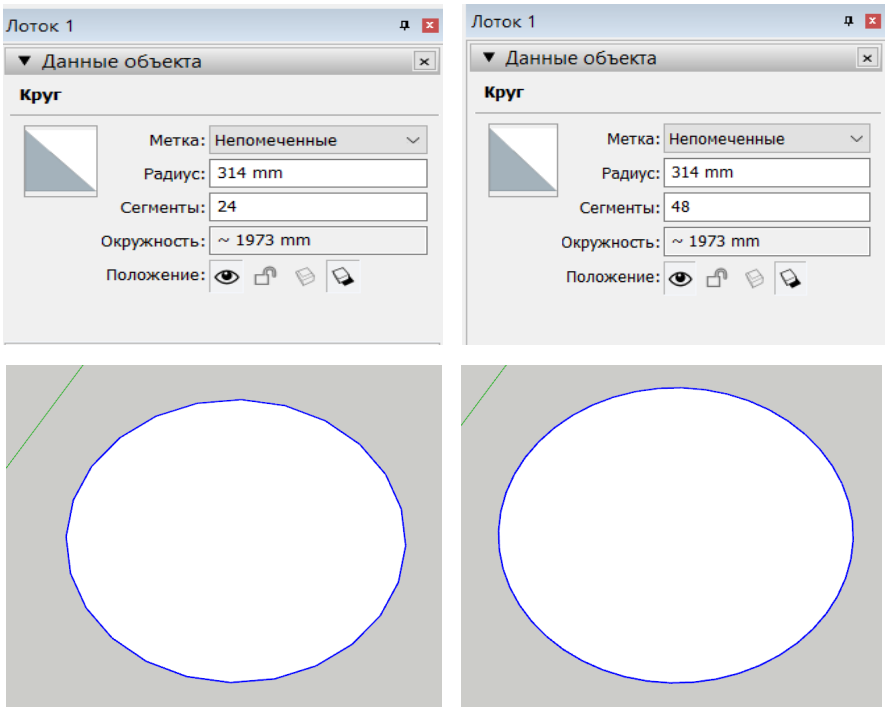


Рис. 3.13. Изменение количества сегментов окружности в «Данных объекта» (слева — 24 сегмента, справа — 48 сегментов)

После создания группы она отображается во вкладке «Иерархия». Группа может содержать другие группы и компоненты, а ее состав редактируется после входа внутрь объекта двойным щелчком в рабочем окне или в иерархии. В иерархии элементы можно переименовывать, скрывать (значком «глаз») и быстро находить в составе модели (рис. 3.14).

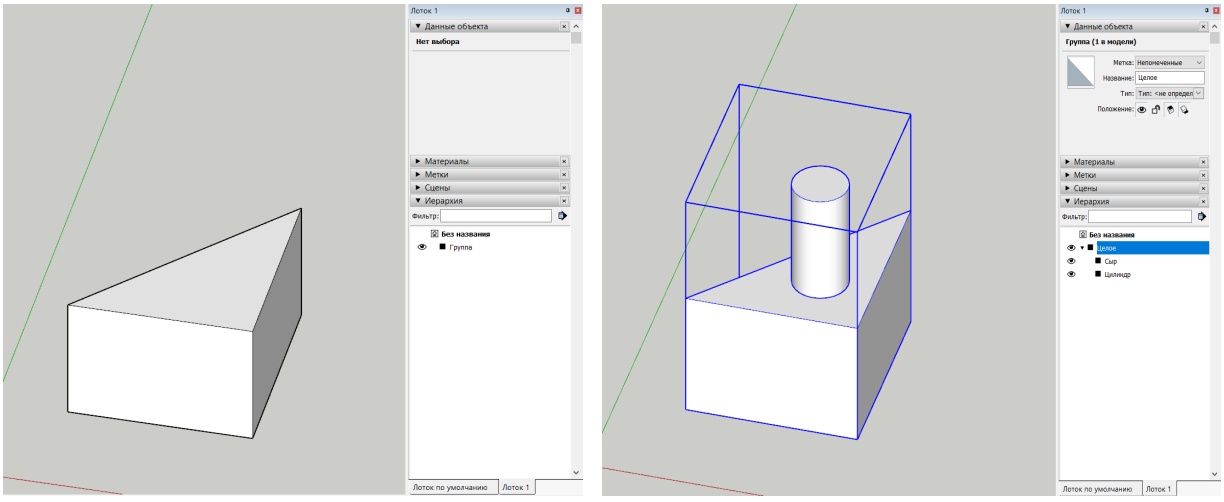


Рис. 3.14. Создание группы и ее отображение во вкладке «Иерархия» (слева — исходная геометрия, справа — группа в иерархии модели)

Группы удобны для объединения уникальной геометрии, однако для повторяющихся элементов мостового сооружения эффективнее использовать компоненты. К таким элементам относятся типовые балки, ребра, стойки опор, сваи, элементы ограждений и другие детали, встречающиеся в модели многократно.

Компоненты сохраняют связь между своими экземплярами. Если геометрия одного экземпляра редактируется внутри компонента, аналогичные изменения применяются и к другим его экземплярам. Компонент создается из выделенной геометрии командой «Создать компонент». В иерархии компонент отличается от группы значком и именем, заключенным в угловые скобки (рис. 3.15).

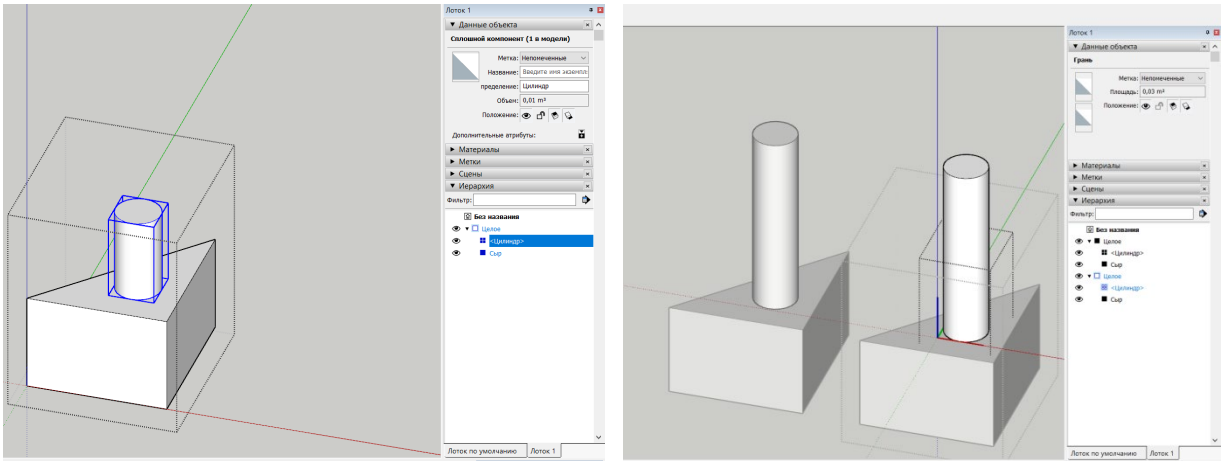


Рис. 3.15. Создание компонента: изменение одного экземпляра отражается на всех копиях (слева — создание компонента, справа — редактирование экземпляра)

Каждый компонент имеет определение, общее для всех его экземпляров [24]. Отдельным экземплярам при необходимости могут быть присвоены собственные наименования, при этом базовое определение компонента сохраняется. В пределах одного файла два различных компонента не могут иметь одинаковое имя определения (рис. 3.16).

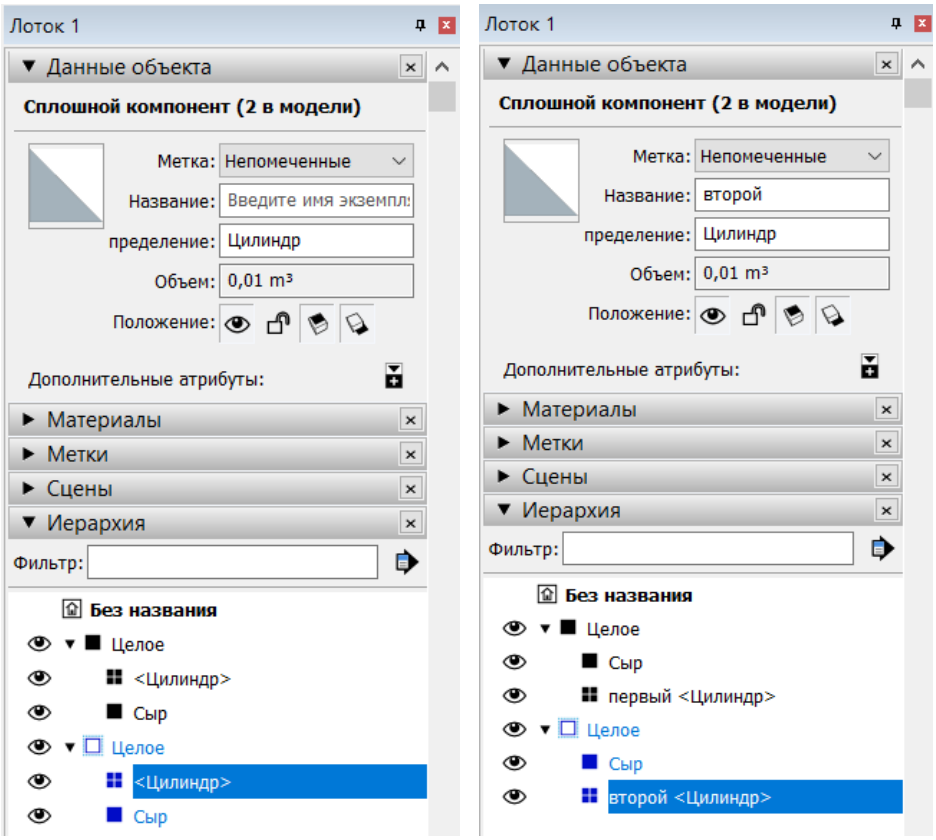


Рис. 3.16. Определение компонента и имена его экземпляров (слева и справа — данные двух экземпляров одного компонента)

Если один из экземпляров требуется изменить независимо от остальных, используется команда «Сделать уникальным». После этого выбранный объект получает отдельное определение и перестает зависеть от исходного компонента (рис. 3.17).

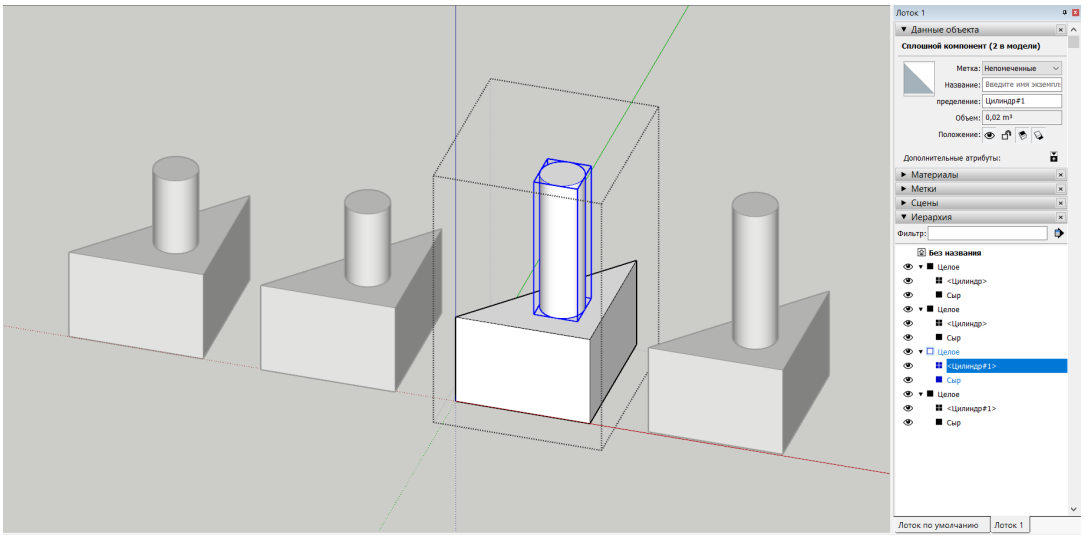


Рис. 3.17. Команда «Сделать уникальным»

Структура модели в SketchUp формируется как иерархия групп и компонентов. Крупные части сооружения включают более мелкие конструктивные элементы, а на нижнем уровне располагается непосредственно геометрия из ребер и граней. Понятная иерархия упрощает поиск, редактирование и подготовку модели к передаче в другие программы (рис. 3.18).

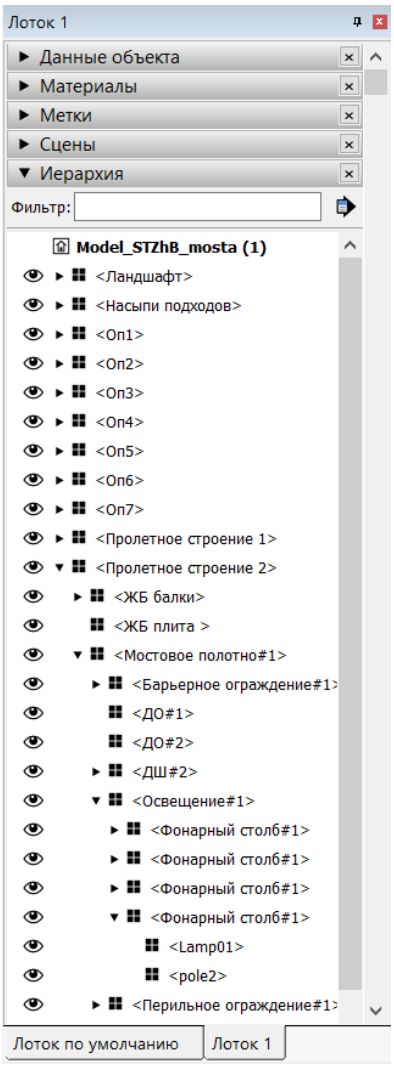


Рис. 3.18. Пример иерархии модели мостового сооружения

Использование компонентов уменьшает объем повторяющейся геометрии, размер файла и нагрузку на графическую подсистему и упрощает работу с типовыми элементами. Кроме того, компоненты могут быть сохранены и повторно использованы в других файлах SketchUp, в том числе простым копированием через буфер обмена.

После определения структуры модели можно переходить к инструментам построения и редактирования геометрии.

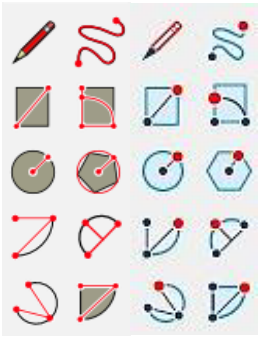
3.2.4. Основные инструменты

Инструменты SketchUp можно условно разделить на несколько групп: вспомогательные, инструменты рисования, редактирования, аннотаций, навигации, просмотра модели, расширения и операции со сплошными объектами.

– Вспомогательные инструменты используются для выбора объектов, создания компонентов, назначения материалов, удаления геометрии и работы с метками.



– Инструменты рисования предназначены для создания ребер, дуг и замкнутых контуров, на основе которых формируются плоские грани.



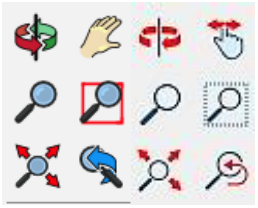
– Инструменты редактирования используются для перемещения, поворота, масштабирования и других преобразований трехмерной геометрии.



– Инструменты аннотаций включают вспомогательные линии, текстовые обозначения, размеры и дополнительные средства привязки и контроля геометрии.



– Инструменты навигации предназначены для изменения положения камеры и масштаба отображения модели. Основные приемы навигации рассмотрены выше.



– Инструменты просмотра модели позволяют задавать положение камеры и создавать секущие плоскости для проверки внутренних и скрытых частей объекта.



– Надстройки объединяют команды установленных расширений и дополнительных модулей SketchUp.



– Инструменты работы со сплошными объектами выполняют операции объединения, пересечения, вычитания, обрезки и разделения. Они применимы только к корректно сформированным сплошным группам или компонентам без лишних внутренних ребер и поверхностей.



Отдельного внимания требуют несколько операций, которые в SketchUp выполняются иначе, чем в привычных инженерных графических программах.

1. Копирование объектов выполняется с помощью инструмента «Переместить» или «Повернуть». После запуска команды клавиша Ctrl переводит операцию в режим создания копии. Для получения равномерного массива после задания расстояния или угла можно указать количество повторений через символ «*». Этот прием удобен при размещении одинаковых балок, ребер, стоек и других повторяющихся элементов. Количество копий можно изменить, не выходя из команды, повторно введя «*» и число.
2. Для построения тела по траектории используется инструмент «Ведение». Он перемещает выбранную грань вдоль заданной линии и может применяться, в частности, для получения тел вращения и протяженных элементов. Для устойчивой работы команды направляющий контур должен быть непрерывным. Для тела вращения в качестве направляющей используется окружность; чтобы команда выполнялась сразу по всей траектории, сначала выделяется направляющая, а затем грань. Рекомендуется также предварительно применить к окружности команды контекстного меню «Разъединить кривую» и «Спаять ребра», после чего направляющая становится единой линией (рис. 3.19).

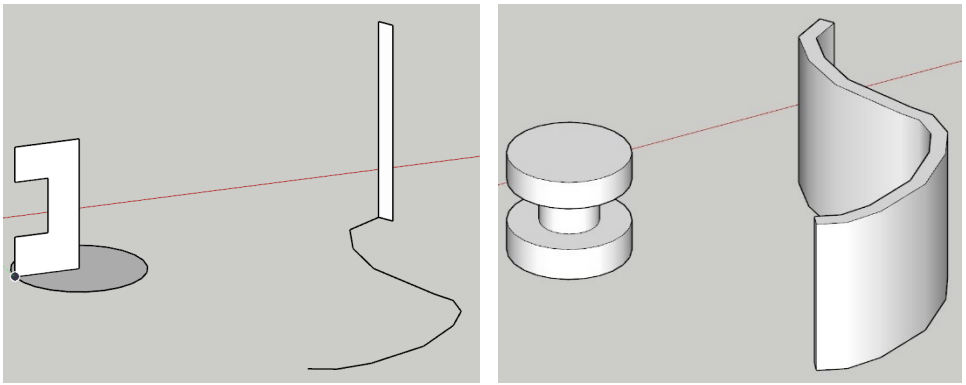


Рис. 3.19. Тела, построенные инструментом «Ведение»

3. Отдельной команды, полностью аналогичной «Растягиванию» в AutoCAD, в SketchUp нет. Изменение длины или формы фрагмента можно выполнить инструментом «Переместить»: выделяется

необходимая группа вершин, ребер и граней, после чего она смещается в требуемом направлении. Выбор выполняется с удержанием клавиши Shift или рамкой. При корректном выборе геометрии соседние поверхности перестраиваются автоматически (рис. 3.20).

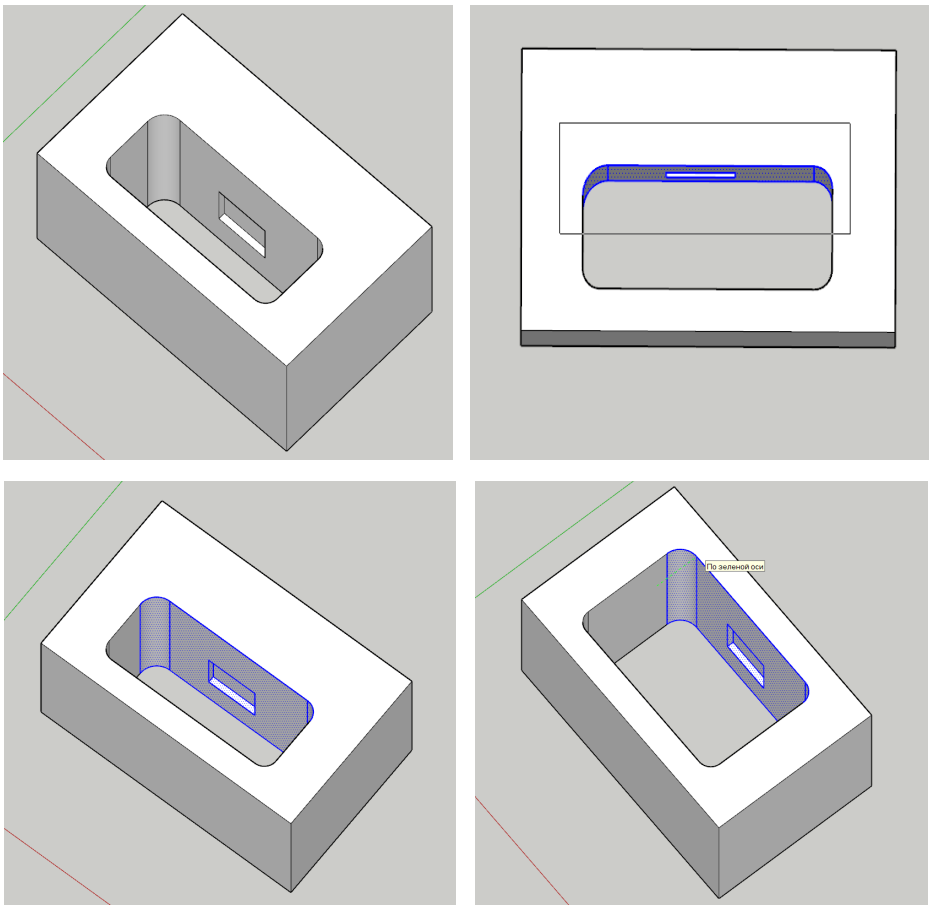


Рис. 3.20. Изменение размеров отверстия инструментом «Переместить» (вверху — исходная фигура, внизу — выбор геометрии и результат перемещения)

4. Автоматического инструмента создания всех типов фасок и сопряжений в базовом наборе нет. Для простых случаев можно сочетать «Смещение» и «Дугу»: смещение используется для определения центров и размеров сопряжений, после чего лишняя геометрия удаляется. При построении необходимо контролировать касательность и привязки к исходному контуру; перпендикуляр к контуру отображается пурпурным цветом (рис. 3.21).

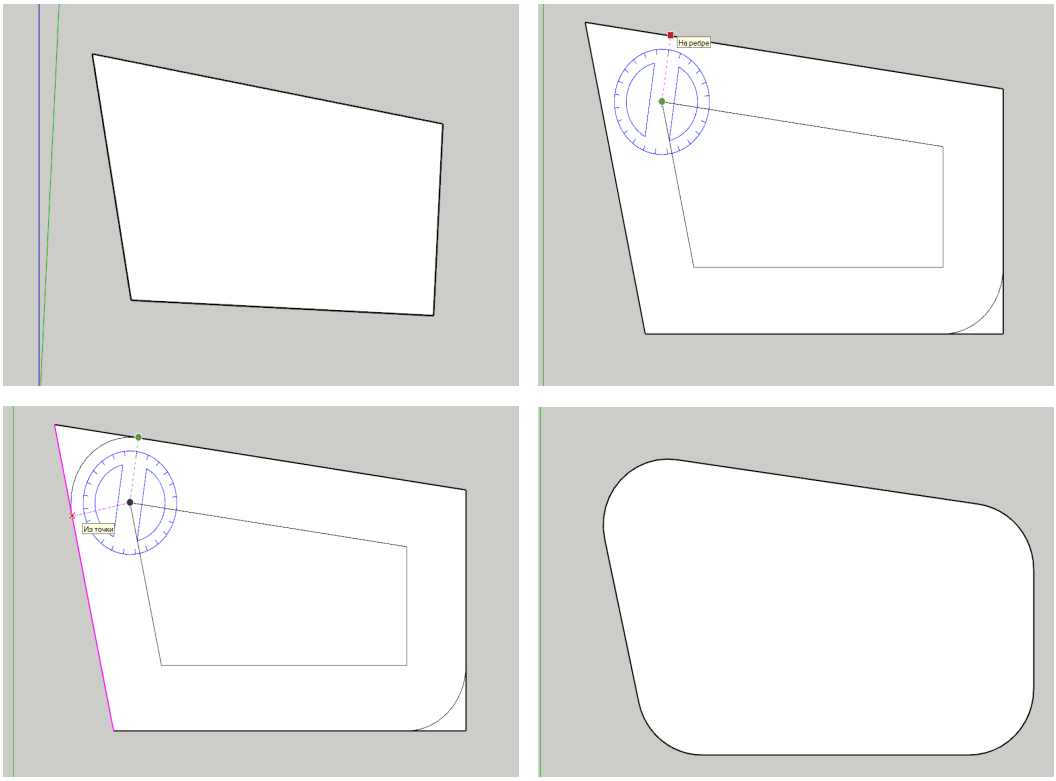


Рис. 3.21. Построение сопряжений с помощью инструментов «Смещение» и «Дуга» (вверху — построение смещения и дуг, внизу — удаление лишней геометрии и итоговый контур)

5. При работе с инструментами важно учитывать систему автоматических привязок SketchUp.
   a. Программа распознает направления, параллельные основным осям, ребрам и характерным точкам модели. Цвет вспомогательных линий подсказывает направление привязки и помогает сохранять требуемую геометрию при построении.
   b. Направление построения или перемещения можно дополнительно зафиксировать клавишами со стрелками: они привязывают действие к одной из основных осей либо к направлению, определенному существующим ребром.
   c. С помощью привязки к линии или объекту можно завершить перемещение и построение относительно существующей геометрии даже в тех случаях, когда точное расстояние заранее неизвестно. Это удобно при взаимном позиционировании крупных

частей сооружения, например при установке пролетного строения на опорные части. Для этого направление фиксируется клавишей со стрелкой, после чего указывается ограничивающий объект (рис. 3.22).

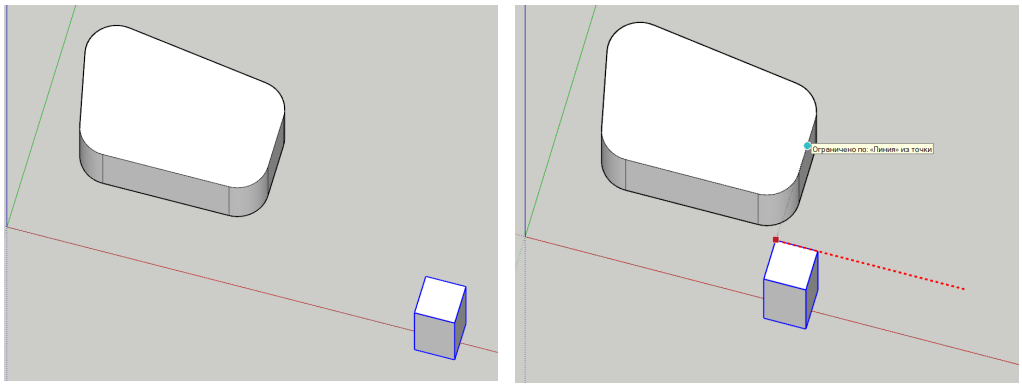


Рис. 3.22. Привязка к линии при перемещении объекта (слева — до перемещения, справа — привязка к ограничивающему объекту)

Базовый набор SketchUp сравнительно невелик, поэтому при выполнении специализированных задач целесообразно использовать проверенные расширения. При этом количество дополнений должно определяться реальной потребностью модели, а не стремлением максимально расширить интерфейс.

Дополнительные сведения о возможностях SketchUp и расширениях можно получить в справочных материалах разработчика и на профильных ресурсах, включая SketchUcation, а также на официальном YouTube-канале SketchUp.

3.2.5. Рекомендации по моделированию

Перед началом моделирования необходимо изучить исходные чертежи и проверить их согласованность. Выявленные на этом этапе расхождения проще устранить до построения трехмерной модели, чем после формирования сложной иерархии объектов.

Мостовое сооружение состоит из большого количества взаимосвязанных частей, поэтому до начала построения геометрии целесообразно определить логику декомпозиции модели:

1. Сначала сооружение разделяется на крупные части: пролетные строения, опоры, подходные насыпи, элементы окружающей территории и специальные сооружения.
2. Каждая крупная часть делится на конструкции. Например, в составе пролетного строения могут быть выделены мостовое полотно, главные и поперечные балки, диафрагмы, связи и другие элементы.
3. Конструкции, в свою очередь, разделяются на элементы, из которых непосредственно формируется геометрия модели. Для стальной коробчатой балки это могут быть стенки, верхний и нижний пояса и поперечные элементы; для мостового полотна — плита проезжей части, деформационные швы, ограждения, освещение и водоотвод (рис. 3.23).

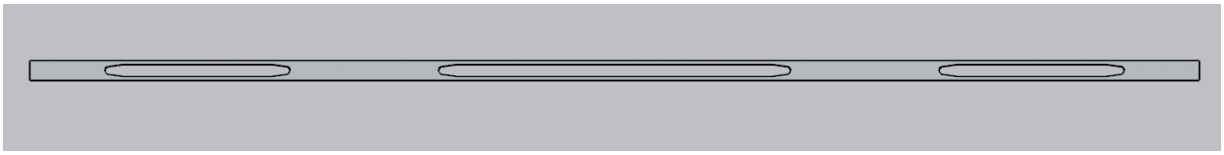


Рис. 3.23. Верхний пояс коробчатой главной балки как простое тело с отверстиями

4. Декомпозиция продолжается до уровня простых геометрических тел и поверхностей, которые можно построить стандартными инструментами SketchUp.

При наличии информации о реальной последовательности изготовления и монтажа конструкций ее полезно учитывать при организации модели. Такой подход делает структуру более понятной и помогает корректно разделять элементы.

Организацию работы в программе также целесообразно заранее настроить под повторяющиеся операции.

Горячие клавиши настраиваются через «Окно» → «Параметры» → «Горячие клавиши». Назначение сочетаний для наиболее часто используемых команд заметно сокращает количество действий при моделировании.

Помимо иерархии групп и компонентов в SketchUp используются метки. Они позволяют управлять видимостью отдельных элементов или групп элементов без изменения их положения и состава. Метки назначаются через «Данные объекта» и полезны при работе со сложной моделью. Метки можно назначать не только группам и компонентам, но и отдельным элементам внутри них, что позволяет скрывать часть объекта.

Для регулярной проверки модели удобно создавать сцены со стандартными представлениями: планом, фасадами, характерными разрезами и рабочими трехмерными видами. Сцена сохраняет положение камеры, поэтому к нужному представлению можно быстро вернуться (рис. 3.24).

Например, для сцены вида сверху выбирается «Камера» → «Стандартные представления» → «Сверху», камера масштабируется, после чего во вкладке «Сцены» нажимается «Добавить сцену». В свойствах сцены целесообразно оставить только параметр «Расположение камеры».

Чтобы переходы между сценами выполнялись без задержки, в меню «Вид» → «Анимация» → «Настройки» снимается флажок переходов между сценами и задается задержка 0 с. Для изменения сохраненной сцены камера устанавливается в новое положение, после чего в контекстном меню сцены выбирается «Обновить сцену».

Последовательность непосредственного построения модели в общем виде включает следующие этапы:

1. создание геометрии отдельных элементов и преобразование повторяющихся объектов в компоненты;
2. назначение материалов основным конструктивным и архитектурным элементам;
3. копирование повторяющихся элементов, сборка крупных частей сооружения и формирование общей иерархии модели.

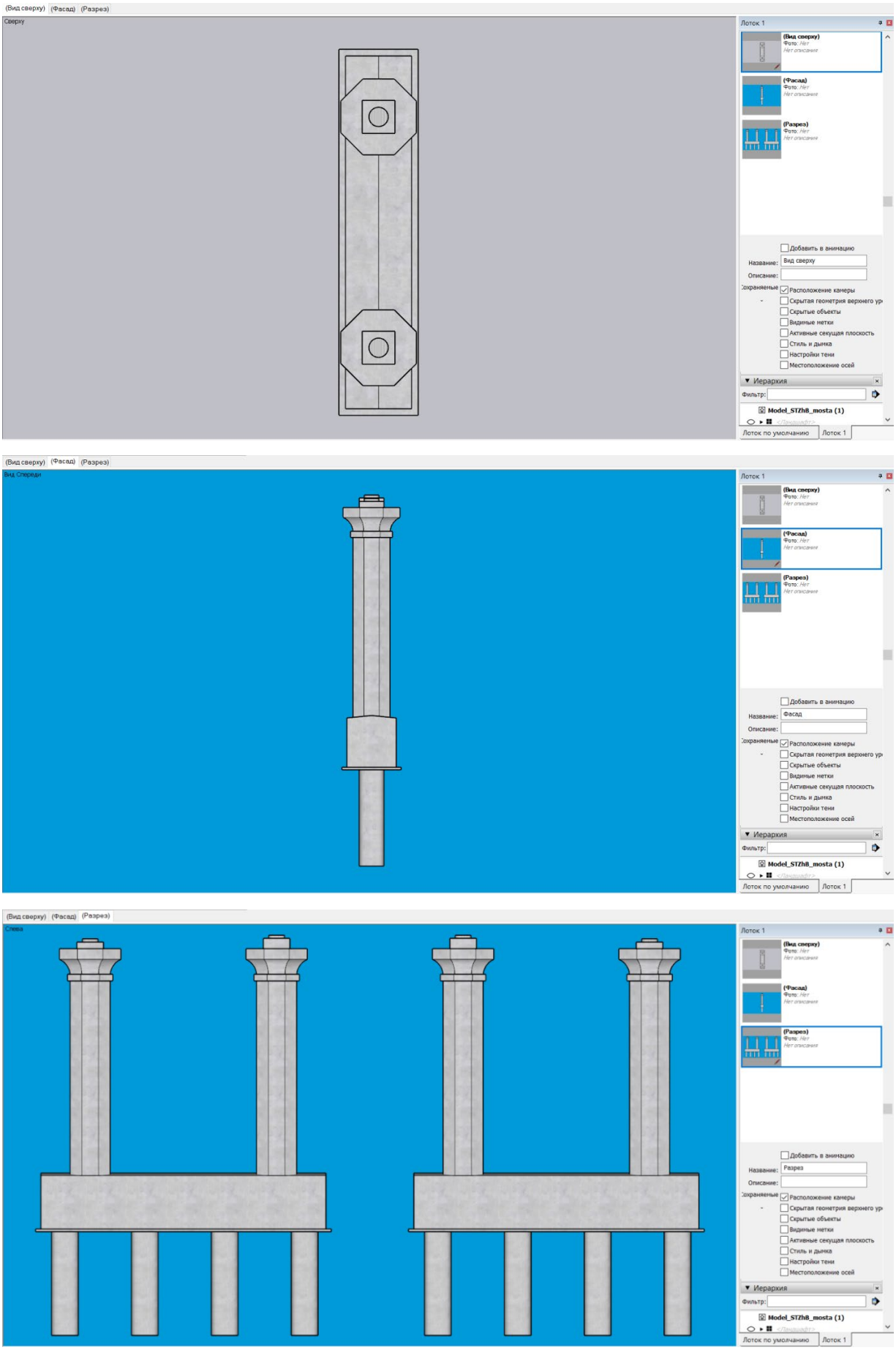


Рис. 3.24. Сцены стандартных представлений: план, фасад и разрез

На начальном этапе полезно создать вспомогательную геометрию: характерные поперечные сечения сооружения и направляющие линии. В рассматриваемом примере неразрезного сталежелезобетонного пролетного строения такие контуры позволяют контролировать взаимное положение элементов и использовать существующие 2D-разрезы как основу для построения. Вспомогательные линии формируются, в том числе, инструментом «Рулетка». Контуры разреза могут быть построены полностью или частично; по ним затем обводятся и выдавливаются элементы конструкций (рис. 3.25).

После подготовки вспомогательной геометрии можно переходить к созданию элементов конструкций. Для главной балки рассматриваемого примера целесообразно сначала сформировать продольные части, а затем добавить поперечные элементы (рис. 3.26).

После формирования основной главной балки ее компонент может быть скопирован в требуемые положения. Далее создаются поперечные балки, связи и другие элементы пролетного строения (рис. 3.27).

Элементы мостового полотна удобно моделировать последовательно по высоте: плита проезжей части, деформационные устройства, дорожная одежда, водоотвод, перильные и барьерные ограждения и освещение (рис. 3.28).

Следующее пролетное строение формируется по той же логике с учетом его собственных габаритов и конструктивных особенностей (рис. 3.29).

После пролетных строений моделируются опоры, подходные насыпи и необходимые элементы окружающего рельефа (рис. 3.30).

На завершающем этапе отдельные части объединяются в общую модель, проверяется их взаимное положение и приводится в порядок иерархия объектов (рис. 3.31).

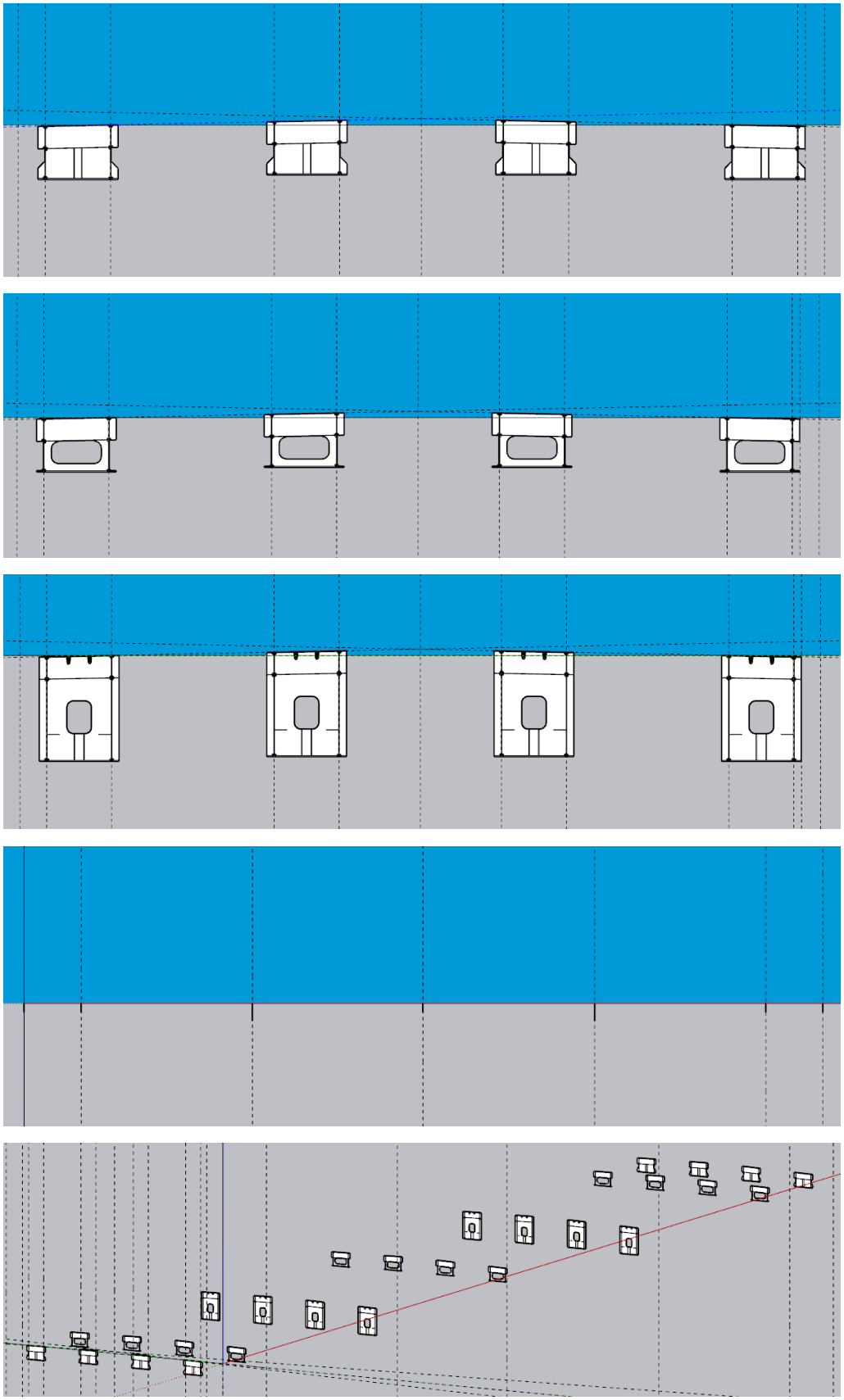


Рис. 3.25. Вспомогательная геометрия: контуры поперечных сечений пролетного строения

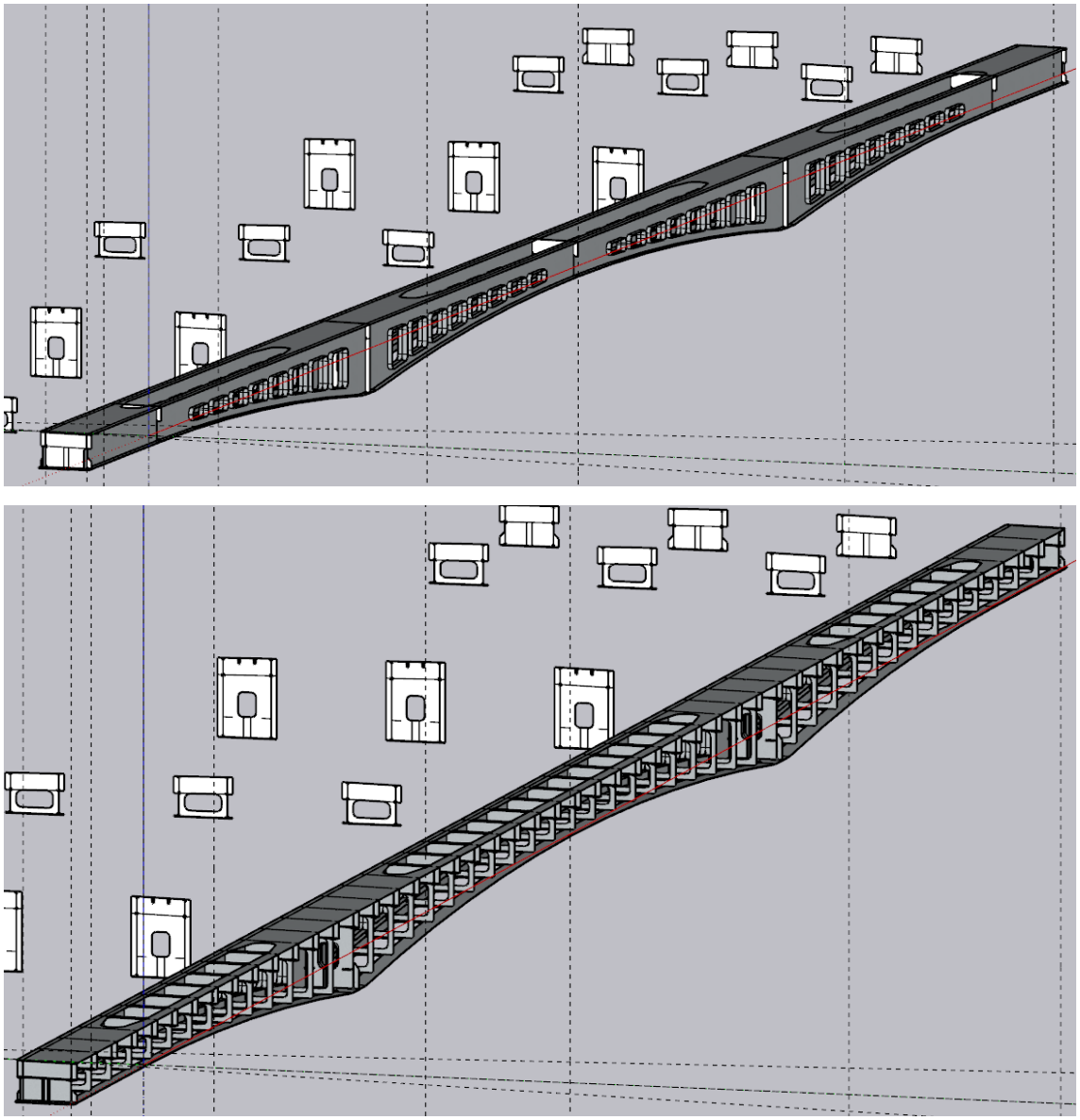


Рис. 3.26. Построение главной балки (вверху — продольные элементы, внизу — с поперечными элементами)

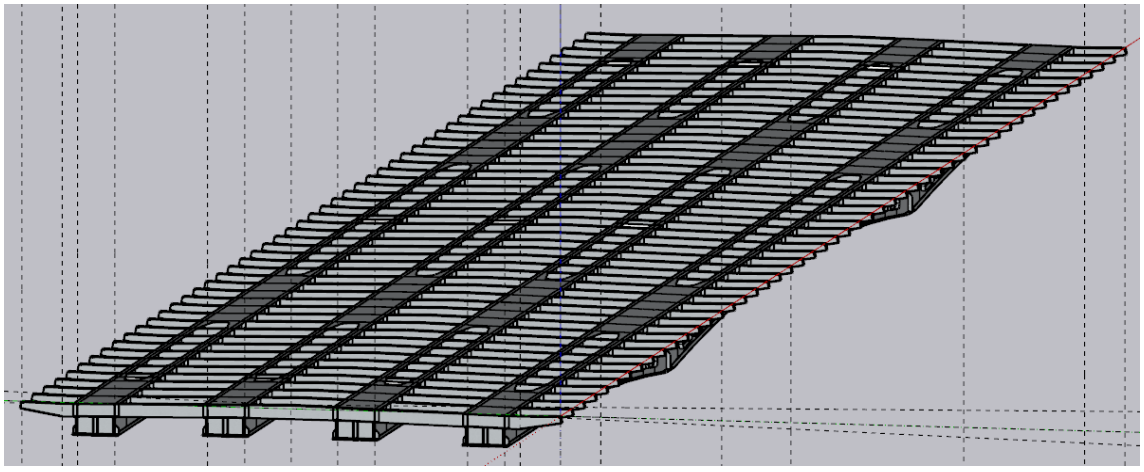


Рис. 3.27. Главные балки, поперечные балки и связи пролетного строения

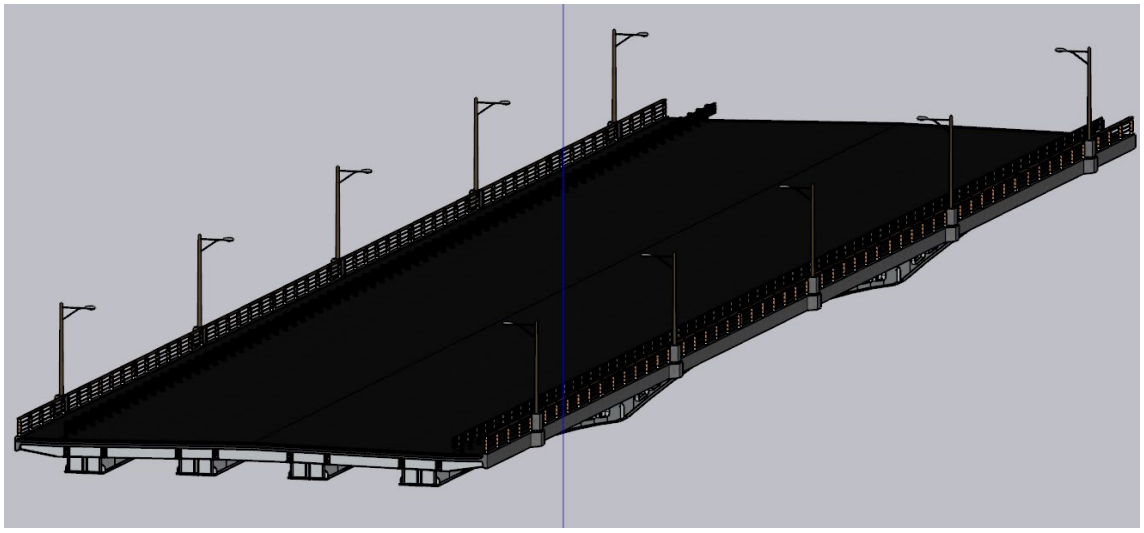


Рис. 3.28. Элементы мостового полотна

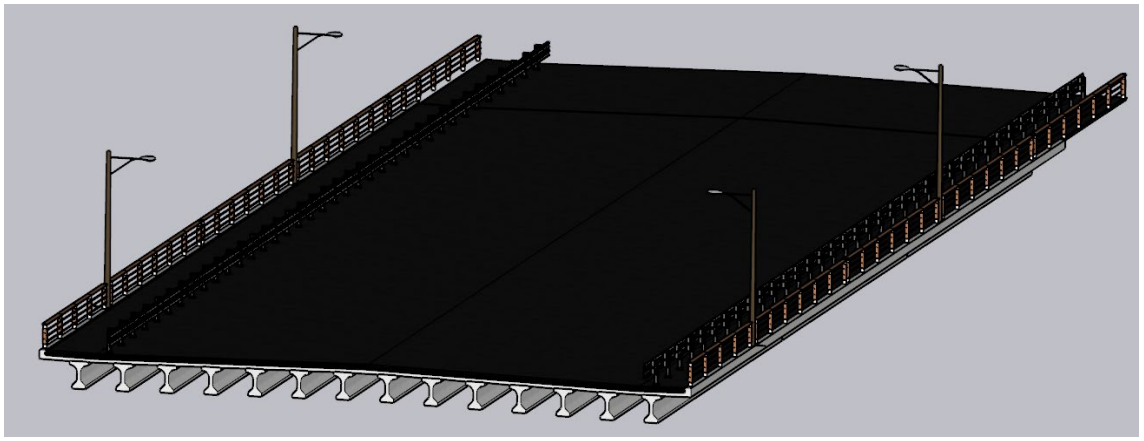


Рис. 3.29. Пролетное строение эстакадного участка

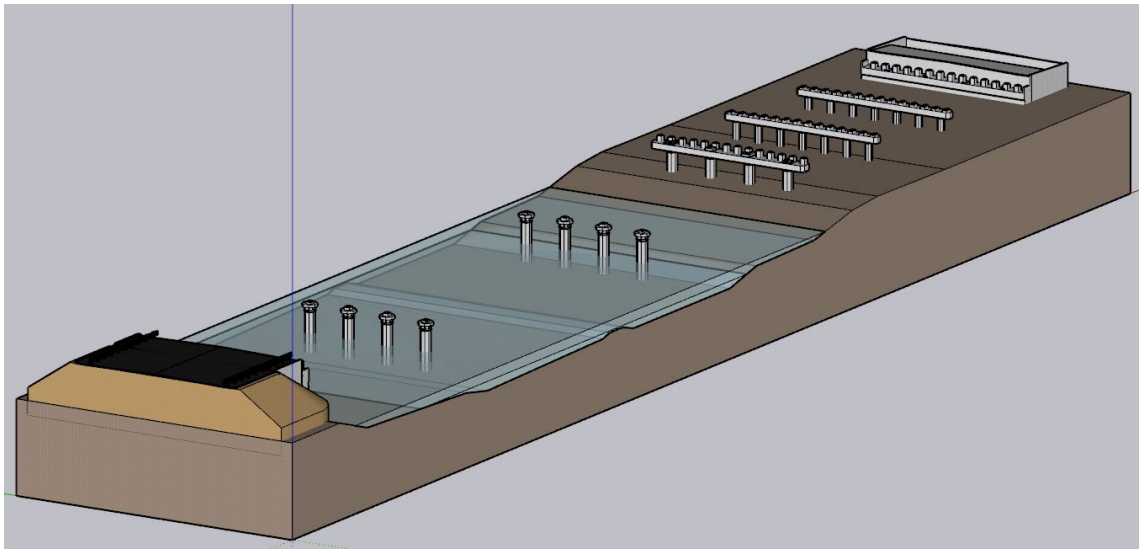


Рис. 3.30. Опоры, подходные насыпи и рельеф

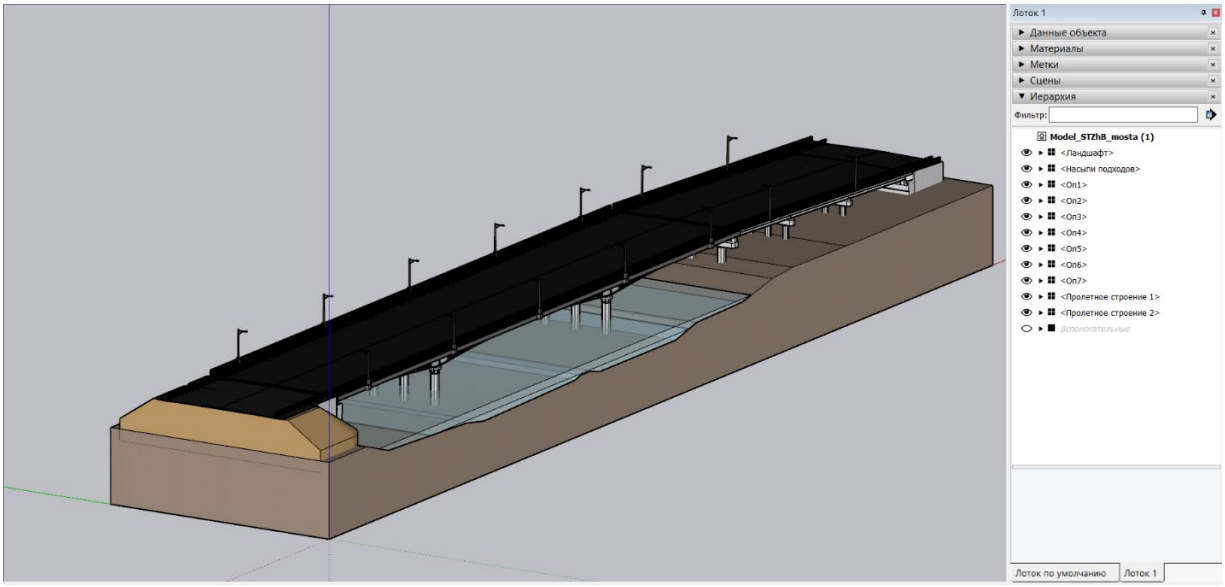


Рис. 3.31. Итоговая модель мостового сооружения и ее иерархия

Детализацию модели определяет задача: для визуализации достаточно достоверно передать габариты, пропорции, материалы и видимые элементы сооружения. Геометрию, которая не влияет на итоговое изображение, в модель не включают.

Контрольные вопросы

1. Из каких элементов состоит базовая геометрия SketchUp и к каким последствиям это приводит при редактировании?
2. Чем группа отличается от компонента? В каких случаях применяется каждый из них?
3. Как сделать экземпляр компонента независимым от остальных?
4. Как в SketchUp выполняются копирование и создание массива?
5. Какими приемами заменяются отсутствующие команды «Растягивание» и построение сопряжений?
6. Как используются клавиши со стрелками и привязки при построении геометрии?
7. В какой последовательности рекомендуется выполнять декомпозицию и построение модели мостового сооружения?

3.3. Моделирование мостового сооружения в Revit

3.3.1. Архитектура программы и принципы работы

Работа в Revit выполняется в среде проекта, где все элементы объединены в единую информационную модель. Изменение элемента относится не к отдельному чертежу или виду, а к самой модели, поэтому внесенные изменения отображаются во всех связанных представлениях объекта. Подробная информация об особенностях работы в Revit доступна в официальной справке [17].

В основе Revit лежит принцип параметрического информационного моделирования. Пользователь работает не с набором независимых линий или поверхностей, а с объектами, которые имеют геометрию, положение в пространстве, материал и набор параметров.

Ключевым понятием программы является семейство. Семейство можно рассматривать как шаблон или сборочную единицу, на основе которой в проекте создаются элементы модели. Через семейства задаются форма объекта, его свойства и возможные варианты изменения. Правила описания компонентов информационной модели, к которым относятся и семейства, установлены СП 328.1325800.2020 [3].

Элементы в Revit организуются через категории, типы и экземпляры. Категория определяет принадлежность элемента к определенной группе внутри программы, тип задает вариант исполнения семейства, а экземпляр является конкретным объектом, размещенным в модели. Такая система позволяет использовать одну и ту же основу для нескольких одинаковых или похожих элементов, а необходимые отличия задавать через параметры.

Рабочее пространство Revit является трехмерным, однако взаимодействие с моделью выполняется не только через 3D-вид. Для работы используются планы, фасады, разрезы, сечения, аксонометрические и перспективные виды. Каждый из них является способом просмотра и редактирования одной и той же модели.

Revit позволяет работать как с готовыми инструментами моделирования, так и с пользовательскими элементами. Готовые инструменты предназначены для создания типовых объектов, а пользовательские семейства применяются в тех случаях, когда требуется создать элемент с собственной формой, параметрами или назначением. Общая схема организации модели в Revit показана на рис. 3.32.

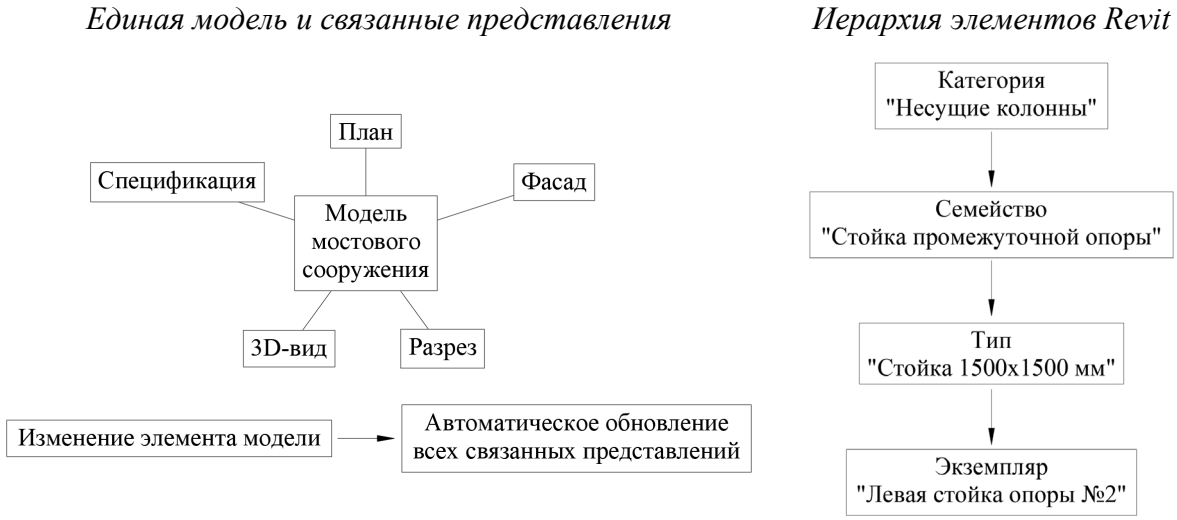


Рис. 3.32. Принципы организации модели в Revit

3.3.2. Структура модели

Структура модели в Revit определяет, из каких частей состоит мостовое сооружение и как эти части связаны между собой внутри проекта. В начале работы целесообразно определить общую логику построения модели: какие элементы будут моделироваться отдельно, какие можно объединить, а какие должны быть выделены как самостоятельные части (рис. 3.33).

Основой модели являются оси, уровни, характерные отметки и основные габариты сооружения. Для моста особенно важны продольная ось, разбивочные оси опор, отметка верха проезжей части и границы поперечного профиля. На этой основе формируется конструктивная схема сооружения. В состав модели обычно входят крайние и промежуточные опоры, пролетное строение, элементы проезжей части и тротуаров, ограждения, подходы и участки окружающей территории.

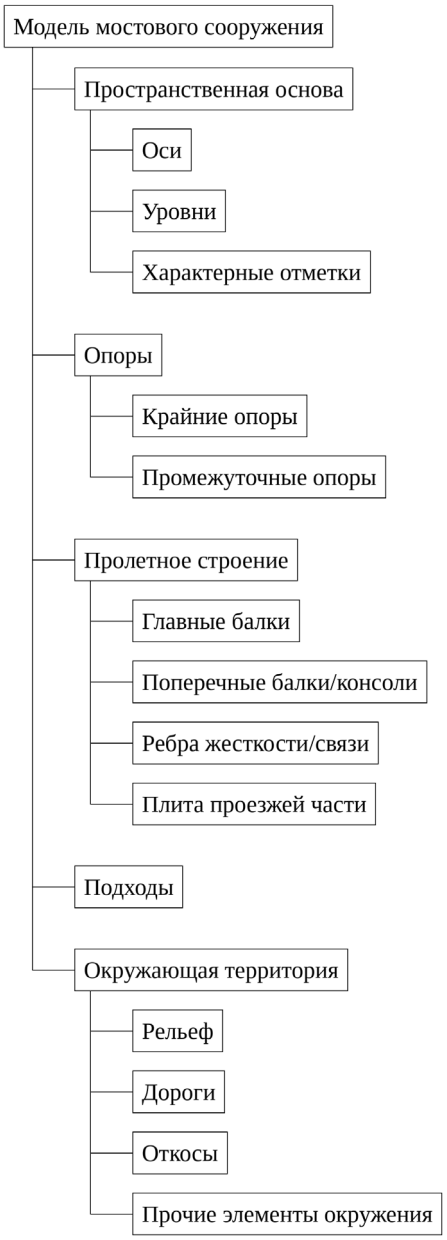


Рис. 3.33. Структура модели мостового сооружения в Revit

Каждый элемент мостового сооружения не обязательно моделируется одним семейством или одним объектом. Например, пролетное строение может состоять из отдельных балок, плиты, поперечных элементов и элементов мостового полотна; промежуточная опора — из тела, ригеля, подферменных площадок и фундаментной части; устой — из шкафной стенки, открылков и элементов сопряжения с насыпью. Такое разделение позволяет точнее передать конструкцию, удобнее назначать материалы и при необходимости редактировать отдельные части модели независимо друг от друга.

Пролетное строение также должно быть отделено от элементов проезжей части и мостового полотна. Металл или железобетон пролетного строения, плита (при наличии), асфальтобетонное покрытие, тротуарные части и ограждения должны восприниматься как разные элементы модели, а не как единая неразделенная геометрия. В модели рассматриваемого примера принято упрощение: плита проезжей части и асфальтобетонное покрытие выполнены внутри сборочного семейства пролетного строения (см. п. 3.3.6).

Отдельную группу составляют второстепенные и вспомогательные элементы. К ним могут относиться деформационные швы, опорные части, водоотводные устройства, закладные детали, лестницы, люки и другие элементы.

Окружающая территория также является частью структуры модели. В нее могут входить рельеф, насыпи, откосы, подходы, существующие дороги, водная поверхность, береговые линии и ближайшие элементы застройки.

Для дальнейшей работы важна понятная система наименований. Элементы, материалы, виды и семейства должны называться последовательно, чтобы их можно было быстро находить, скрывать, редактировать и передавать в другие программы.

Материалы следует рассматривать как часть структуры модели. Бетон, металл, асфальтобетон, тротуарное покрытие, грунт, вода и элементы ограждений должны быть разделены не только геометрически, но и по назначенным материалам.

3.3.3. Основные инструменты

При моделировании мостового сооружения в Revit используется не весь набор возможностей программы, а только те инструменты, которые соответствуют конкретной задаче построения модели. Наиболее используемые из них приведены на рис. 3.34.

Пространственная основа создается с помощью осей и уровней. Оси задают положение основных элементов в плане, а уровни — в вертикальной плоскости.

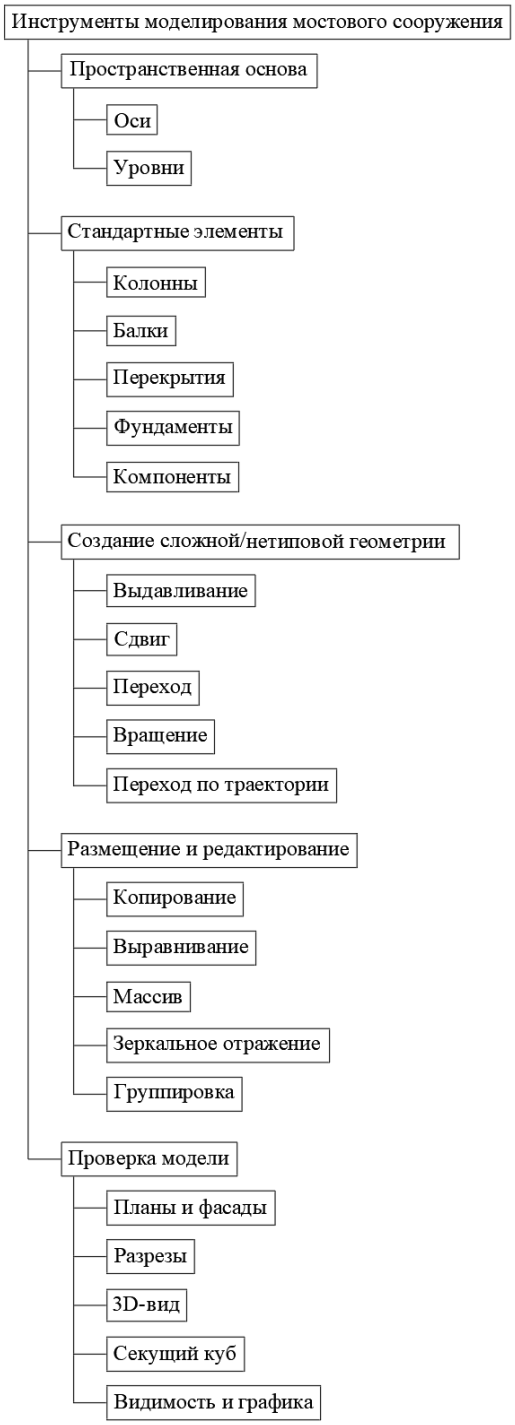


Рис. 3.34. Инструменты Revit, применяемые при моделировании мостового сооружения

Для создания конструктивных частей могут применяться стандартные инструменты Revit: колонны, балки, перекрытия, фундаменты и компоненты. Их удобно использовать в тех случаях, когда форма элемента близка к типовым конструкциям. Например, отдельные стойки опор могут

быть выполнены как колонны, ригели — как балки, а плитные элементы — как перекрытия.

Однако мостовые конструкции часто имеют форму, которую сложно описать стандартными инструментами. Это касается опор сложного очертания, элементов переменного сечения, нестандартных ригелей, оголовков и отдельных частей пролетного строения. В таких случаях применяются пользовательские семейства и инструменты создания форм.

Для создания геометрии внутри семейств используются выдавливание, сдвиг, переход и вращение.

Выдавливание подходит для элементов постоянного сечения, расположенных в одной плоскости. Сдвиг позволяет протянуть профиль вдоль заданной траектории, например при моделировании перил, труб, водоотводных лотков или других линейных деталей. Переход используется там, где форма элемента изменяется от одного сечения к другому. Такой инструмент может быть полезен при моделировании элементов переменной высоты или частей опор, имеющих сложное очертание. Вращение применяется для круглых или осесимметричных деталей.

Отдельную роль играют инструменты редактирования: перемещение, копирование, поворот, зеркальное отражение, выравнивание, обрезка, массив и группировка.

Массив удобен для размещения повторяющихся элементов с постоянным шагом. Это могут быть элементы перильного и барьерного ограждения, поперечные ребра, светильники или другие детали.

Инструмент выравнивания помогает точно привязывать элементы к осям, уровням, граням и другим объектам. Группировка удобна для повторяющихся узлов, не требующих индивидуальных изменений; при большом количестве изменений отдельных экземпляров она может усложнить редактирование модели.

Для проверки модели используются планы, фасады, разрезы и трехмерные виды. Разрезы позволяют контролировать геометрию в

характерных местах: по оси опоры, в середине пролета, в зоне устоя или в поперечном направлении.

Полезным инструментом является граница 3D-вида. С ее помощью можно временно отсечь часть модели и рассмотреть отдельный фрагмент сооружения: сопряжение пролетного строения с опорой, положение плиты проезжей части или устройство устоя.

Настройки видимости и графики позволяют управлять отображением элементов на разных видах. Вместо удаления лишних объектов из модели можно настроить отдельный вид для проверки несущих конструкций, элементов мостового полотна, ограждений или окружающей территории.

В проект также могут подгружаться чертежи DWG, схемы, топографическая основа или другие исходные материалы. Обычно они используются как подложки для точного размещения элементов, а не как замена самой модели.

Материалы назначаются через свойства элементов или параметры семейств. На этом этапе важно корректно разделить поверхности по материалам, чтобы в дальнейшем с ними было удобно работать.

3.3.4. Рекомендации по моделированию

Перед началом моделирования необходимо определить назначение будущей модели. От этого зависит степень детализации, состав элементов и общий подход к построению объекта.

Если модель создается для визуализации проектного решения, основное внимание следует уделять тем частям сооружения, которые будут видны на итоговых изображениях или в видеоролике. В первую очередь должны быть корректно показаны форма пролетного строения, опоры, проезжая часть, тротуары, ограждения, подходы и ближайшее окружение.

Не следует стремиться к избыточной детализации всех элементов. Мелкие детали, которые не попадают в кадр или не влияют на восприятие сооружения, могут быть упрощены или удалены из модели. Это позволяет

снизить нагрузку на файл и упростить дальнейшую передачу модели в программу визуализации.

При этом упрощение не должно искажать проектное решение. Даже демонстрационная модель должна сохранять основные габариты, пропорции, высотные отметки и взаимное положение конструктивных элементов.

Работу рекомендуется начинать с общей схемы сооружения. Сначала задаются основные оси, отметки и габариты, затем формируются крупные конструктивные части. Только после этого имеет смысл переходить к деталям.

Такой порядок помогает избежать ситуации, когда отдельные элементы уже подробно смоделированы, но общая геометрия моста требует изменения.

Если элемент используется только один раз и не предполагает дальнейшего изменения, его можно выполнить более простым способом. Важно не усложнять модель там, где это не дает практического результата.

В процессе моделирования необходимо регулярно проверять объект на разных видах. Ошибки, которые незаметны в плане, часто становятся очевидны в разрезе или в 3D-виде. Особенно внимательно следует проверять сопряжения основных частей сооружения: пролетного строения с опорами, устоев с подходами, плиты проезжей части с тротуарами и ограждениями.

Подготовка модели к передаче в программу визуализации выполняется по рекомендациям п. 1.6. В Revit для этого удобно создать отдельный 3D-вид, в котором оставлены только необходимые элементы, а подложки, временные построения и объекты, не попадающие в итоговую сцену, скрыты.

При моделировании в Revit следует придерживаться принципа достаточности: модель должна быть настолько подробной, насколько этого требует представление проектного решения.

3.3.5. Возможности использования модели

Модель мостового сооружения, созданная в Revit, может использоваться не только как рабочий файл для построения геометрии. В зависимости от степени проработки она становится основой для проверки, демонстрации и дальнейшей визуализации проектного решения.

В первую очередь такая модель позволяет наглядно оценить общий вид сооружения. В трехмерном пространстве проще понять пропорции моста, форму опор, положение пролетного строения, связь с подходами и окружающей территорией.

Модель также помогает выявить отдельные несоответствия, которые не всегда очевидны на плоских чертежах. Например, можно проверить взаимное положение опор и пролетного строения, сопряжение моста с насыпью, высотное положение проезжей части, тротуаров и ограждений.

При наличии настроенных видов модель может использоваться для получения планов, фасадов, разрезов и аксонометрических изображений. Такие материалы могут быть полезны при подготовке учебного проекта, пояснительной записки, презентации или методических материалов.

Отдельное значение имеет использование модели как основы для визуализации. Подготовленная модель может быть передана в визуализационную программу, где выполняется дальнейшая настройка материалов, освещения, окружения, камер и сценариев движения, либо визуализирована с помощью внутренних инструментов Revit.

Модель может использоваться и для сравнения вариантов проектного решения. Например, можно показать различия в форме опор, типе ограждения, очертании пролетного строения, организации подходов или общем визуальном восприятии сооружения в окружающей среде.

Кроме того, модель удобна для объяснения проектных решений. Трехмерное представление помогает показать конструкцию тем, кому сложнее воспринимать объект только по чертежам: студентам, заказчикам или участникам обсуждения проекта.

Важно учитывать и ограничения. Модель, подготовленная для визуализации, не заменяет расчетную схему, рабочую документацию и проверку конструктивных решений. Она служит инструментом представления, анализа внешнего вида и пространственного понимания сооружения.

Ценность модели определяется не только уровнем детализации, но и тем, насколько грамотно она организована и соответствует поставленной задаче.

3.3.6. Пример модели

В качестве наглядного примера рассматривается модель мостового сооружения, описанного в п. 3.1. Общий вид модели представлен на рис. 3.35.



Рис. 3.35. Общий вид модели

Модель создана в Autodesk Revit 2024 и предназначена прежде всего для подготовки видеопрезентации проектного решения. В связи с этим при ее разработке был принят ряд допущений, определивших состав, структуру и степень детализации элементов. Основное внимание уделялось геометрии, пропорциям и взаимному расположению конструкций, которые оказывают непосредственное влияние на визуальное восприятие сооружения. Скрытые элементы, не попадающие в итоговые кадры и не влияющие на внешний облик моста, моделировались в упрощенном виде либо не включались в модель. В частности, фундаменты опор в модели представлены не полностью: проектом предусмотрены свайные основания, однако сваи в

модели отсутствуют, поскольку после завершения строительства они находятся ниже поверхности грунта или уровня воды и не видны при визуализации сооружения. По этой же причине в модель не были включены переходные плиты, расположенные в зонах сопряжения моста с подходами. Водоотводные лотки и смотровые приспособления также не влияют на внешний архитектурный облик, поэтому в модель они не были включены. Такое упрощение позволило сократить объем геометрии без заметного влияния на содержание итоговой видеопрезентации.

Еще одно упрощение связано с продольной геометрией сооружения. В реальном проекте ось моста в продольном профиле располагается на вертикальной кривой заданного радиуса. В рассматриваемой модели сталежелезобетонное пролетное строение принято горизонтальным. Точное воспроизведение проектного продольного профиля потребовало бы дополнительной настройки положения главных балок, поперечных конструкций, плиты проезжей части и элементов мостового полотна, при этом практически не повлияло бы на восприятие сооружения в итоговой видеопрезентации. Подобное упрощение допустимо, только если продольный профиль не является предметом демонстрации. Если визуализация должна показывать сопряжение моста с подходами, подмостовой габарит или вид вдоль проезжей части, профиль следует воспроизводить по проекту.

Исключением является эстакадный участок, для которого продольный уклон необходимо было сохранить, поскольку его отсутствие привело бы к заметному нарушению сопряжения пролетных строений, опор и подхода.

При организации модели использовался смешанный подход. Часть конструкций представлена отдельными загружаемыми семействами, объединенными во вложенные семейства, в то время как отдельные вспомогательные и локальные элементы создавались непосредственно в среде сборочных семейств с помощью инструментов построения геометрии (рис. 3.36).

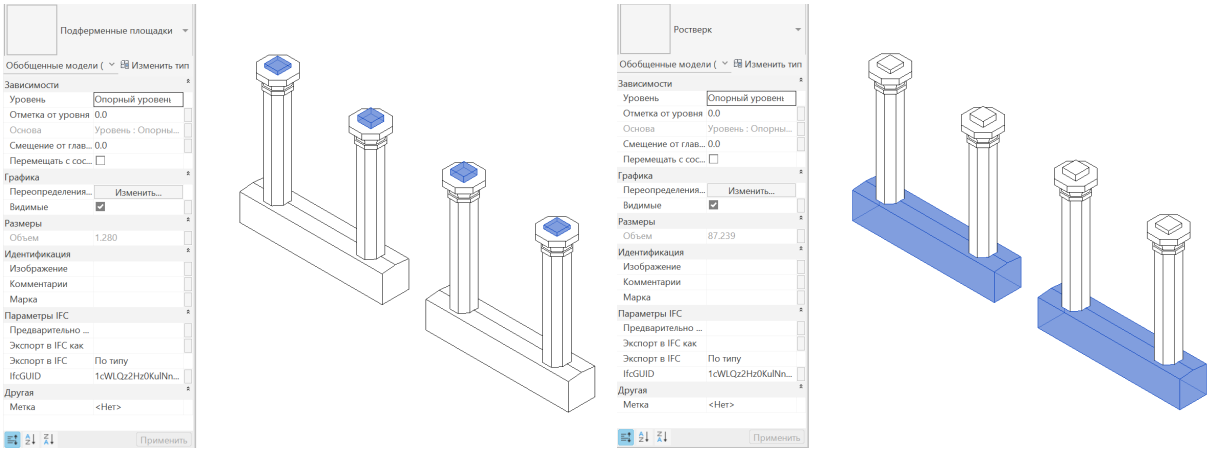


Рис. 3.36. Пример формирования опоры из отдельных семейств (слева и справа — выделены отдельные вложенные семейства)

Опоры основного пролетного строения выполнены в виде сборочных семейств, состоящих из отдельных вложенных компонентов. Например, промежуточная опора № 2 включает ростверк, стойки и подферменные площадки, а крайняя опора № 1 — ростверк, тело устоя, открылки и шкафную стенку. Такое разделение позволяет независимо редактировать основные конструктивные части, назначать им материалы и при необходимости повторно использовать отдельные элементы (рис. 3.36).

Более сложную структуру имеет сталежелезобетонное пролетное строение (рис. 3.37). Главные балки представлены отдельными семействами и разделены на крайние и промежуточные. Всего в поперечном сечении размещены четыре главные балки. Выделение крайних балок в самостоятельный тип связано с различием конструкции ребер жесткости в опорных зонах: на наружной, видимой стороне их геометрия отличается от геометрии ребер со стороны внутренней части пролетного строения.

Стенки и пояса главных балок, диафрагмы, поперечные балки и накладки для их крепления выполнены в виде отдельных семейств. При этом для крепежных элементов выбрана низкая степень детализации. Диафрагмы разработаны как параметрические семейства. Их конструктивная схема сохраняется по длине пролета, однако размеры изменяются в зависимости от высоты главных балок в конкретном сечении. Применение параметров

позволило использовать одно базовое семейство для нескольких положений диафрагм, изменяя его геометрические характеристики без создания большого количества независимых элементов (рис. 3.38–3.39).

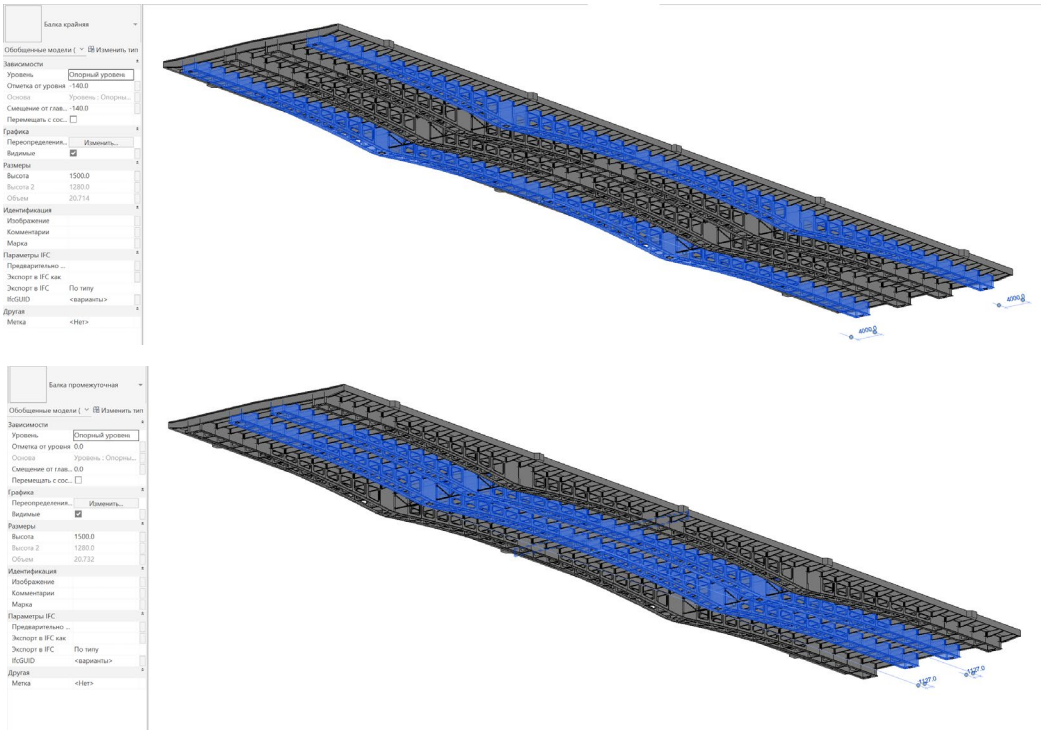


Рис. 3.37. Расположение экземпляров семейств главных балок в сборочном семействе пролетного строения

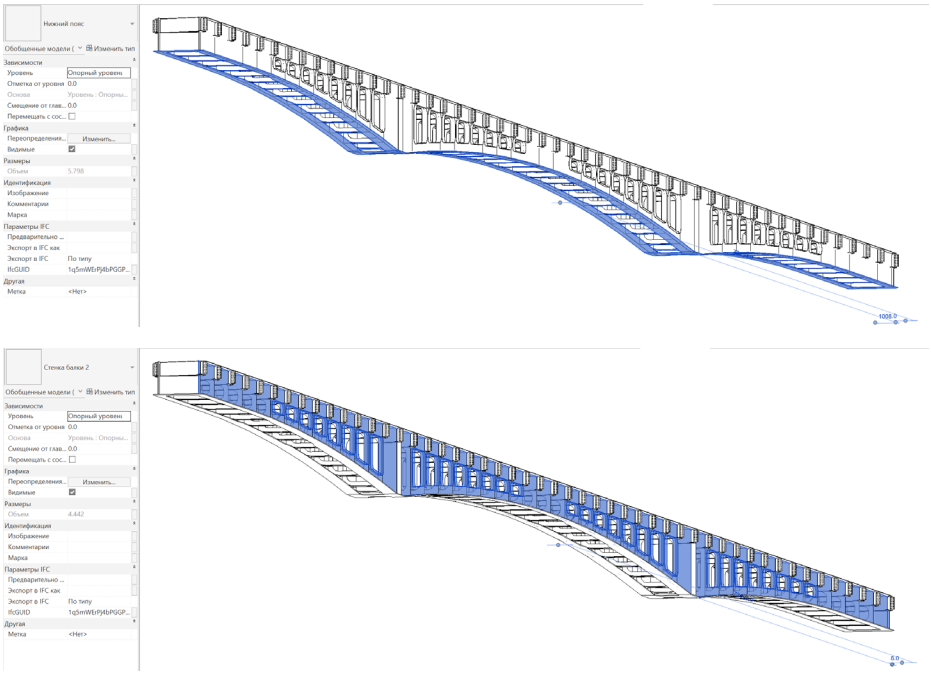


Рис. 3.38. Пример формирования главной балки из отдельных семейств

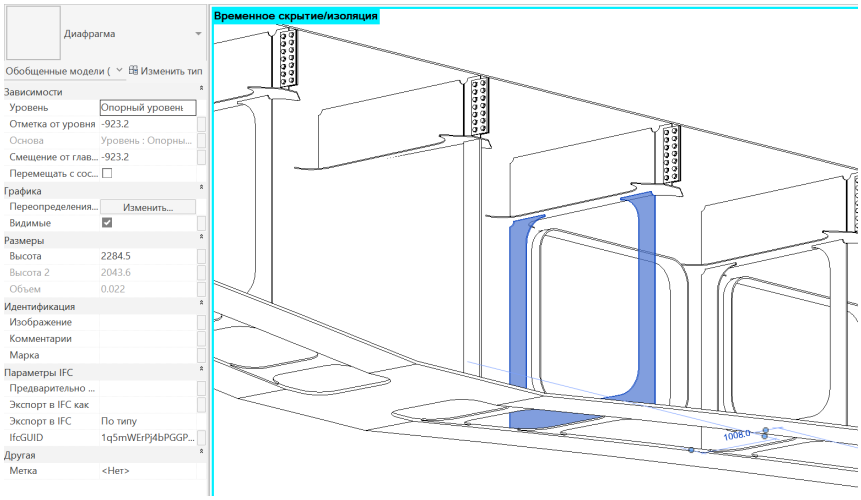
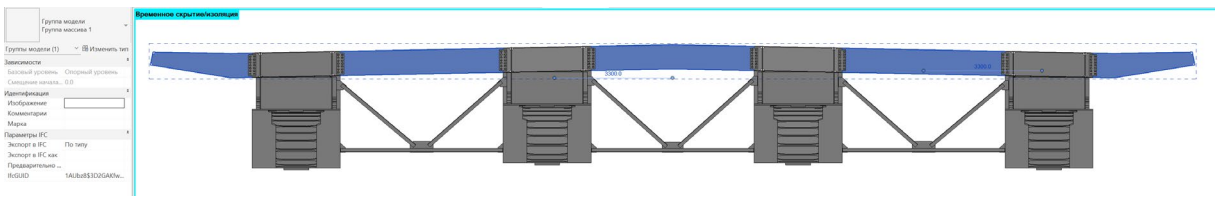


Рис. 3.39. Применение параметрического семейства для формирования диафрагм (стенка главной балки скрыта)

Главные балки были загружены в сборочное семейство пролетного строения и размещены в поперечном направлении с заданным шагом и необходимым высотным положением. В то же семейство были загружены и расставлены поперечные балки, консоли и другие повторяющиеся элементы. Для таких элементов целесообразно использовать группы (рис. 3.40). Это позволяет сохранять их взаимное положение и одновременно контролировать расстановку одинаковых узлов в модели.

Вместе с тем часть конструкций была создана непосредственно внутри сборочного семейства пролетного строения (рис. 3.41). Опорные диафрагмы и опорные листы в надопорных зонах главных балок, а также железобетонная плита проезжей части, площадки размещения мачт освещения и асфальтобетонное покрытие выполнены с помощью выдавливания. Поперечные связи сформированы инструментами «Выдавливание» и «Переход со сдвигом».



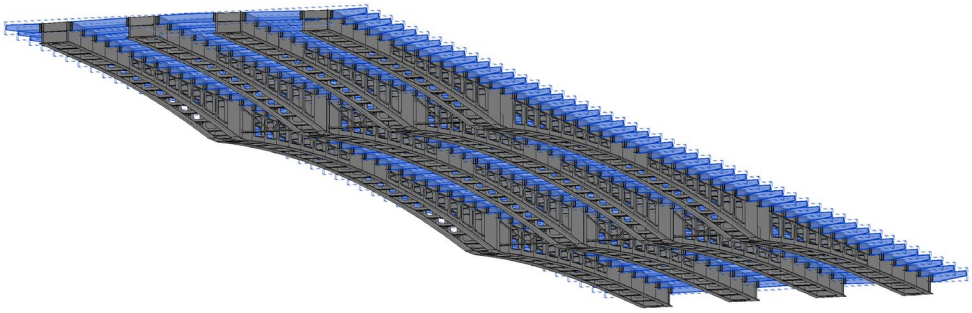


Рис. 3.40. Объединение повторяющихся элементов в группы (железобетонная плита и асфальтобетонная поверхность скрыты)

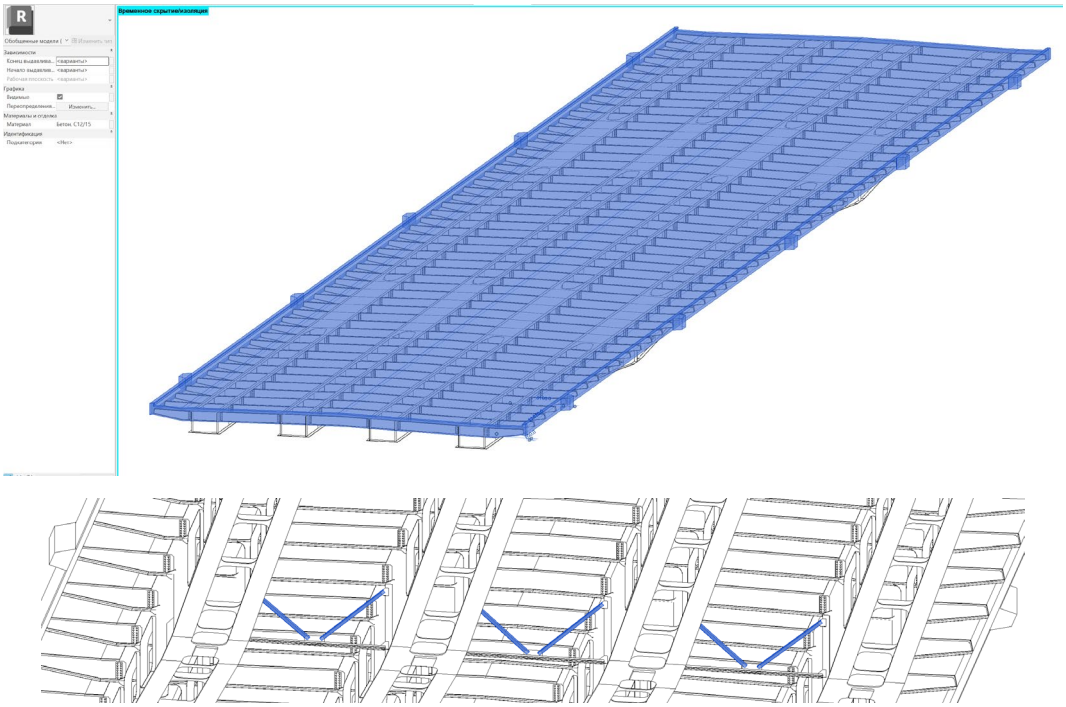


Рис. 3.41. Создание элементов пролетного строения при помощи инструментов формирования геометрии

Элементы мостового полотна на металлическом пролетном строении преимущественно размещены в итоговом сборочном семействе в виде отдельных экземпляров. Исключение составляют балки барьерного ограждения, геометрия которых выполнена непосредственно внутри сборочного семейства с помощью выдавливания (рис. 3.42).

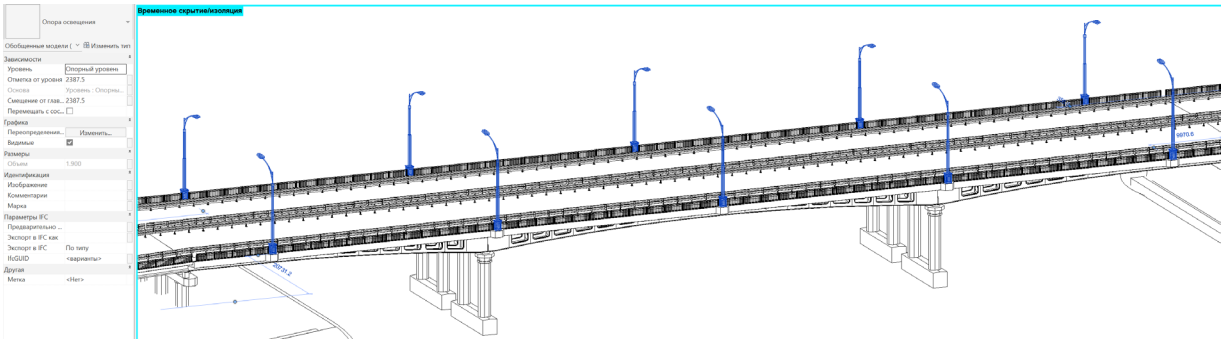


Рис. 3.42. Расстановка экземпляров мачт освещения в сборочном семействе мостового сооружения

Помимо основного сталежелезобетонного пролетного строения в состав сооружения входит эстакадный участок из сборных железобетонных балок. Его включение в модель позволило рассмотреть не только создание индивидуальных конструкций, но и применение повторяющихся типовых элементов.

Одной из особенностей эстакадного участка является его расположение с продольным уклоном. В выбранной схеме моделирования стандартная команда поворота Revit не позволяла непосредственно ориентировать загружаемое семейство вне его исходной рабочей плоскости. Для решения подобной задачи может быть создано дополнительное параметрическое семейство, внутри которого через начало координат проводится вспомогательная опорная плоскость. Ее положение задается угловым параметром относительно одной из основных плоскостей семейства. Моделируемый элемент при этом загружается как вложенное семейство и размещается на созданной опорной плоскости.

Следует учитывать, что в такой схеме положение элемента задается углом в градусах, тогда как продольные уклоны автомобильных дорог и мостовых сооружений обычно выражаются в процентах или промилле. Поэтому проектное значение уклона необходимо предварительно пересчитать в угловую величину. Это усложняет настройку и последующий контроль положения большого количества отдельных элементов. Вместо ручного пересчета угол наклона опорной плоскости можно задать формулой

непосредственно в параметре семейства — atan(i), где i — уклон в долях единицы (например, 25 ‰ = 0,025).

По этой причине эстакадный участок был представлен одним укрупненным семейством. Такой подход позволил задать необходимое наклонное положение сразу для всей части сооружения и сохранить взаимное расположение входящих в нее конструкций. Семейство включает опоры, сборные балки пролетных строений, монолитную железобетонную плиту, объединяющую балки в единую конструкцию, элементы мостового полотна и подпорную стенку подхода.

Основная геометрия эстакадной части сформирована непосредственно внутри семейства с помощью выдавливаний, сдвигов и переходов со сдвигом. В отдельные вложенные семейства выделены преимущественно элементы, которые уже были разработаны для других частей сооружения и могли использоваться повторно: барьерное и перильное ограждения, а также опоры освещения.

Такое представление эстакадного участка является укрупненным. Оно позволяет передать его общую конструктивную схему, продольный уклон, положение опор, очертание пролетных строений и внешний вид подхода, однако не обеспечивает независимого управления всеми составляющими конструкциями.

При разработке полноценной информационной модели опоры, сборные балки, монолитную плиту, элементы мостового полотна и подпорные стены следует представлять отдельными семействами или элементами с собственной геометрией и параметрами. Для их размещения на уклоне необходимо заранее предусмотреть общую систему опорных плоскостей, параметров и правил позиционирования (рис. 3.43–3.44).

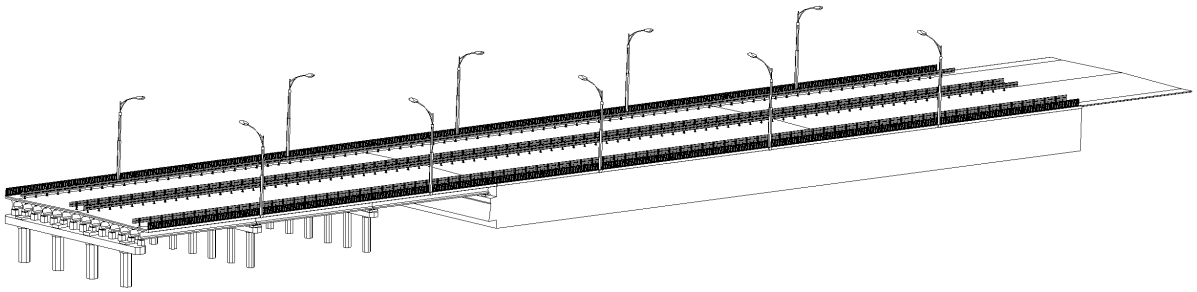


Рис. 3.43. Общий вид семейства эстакадного участка

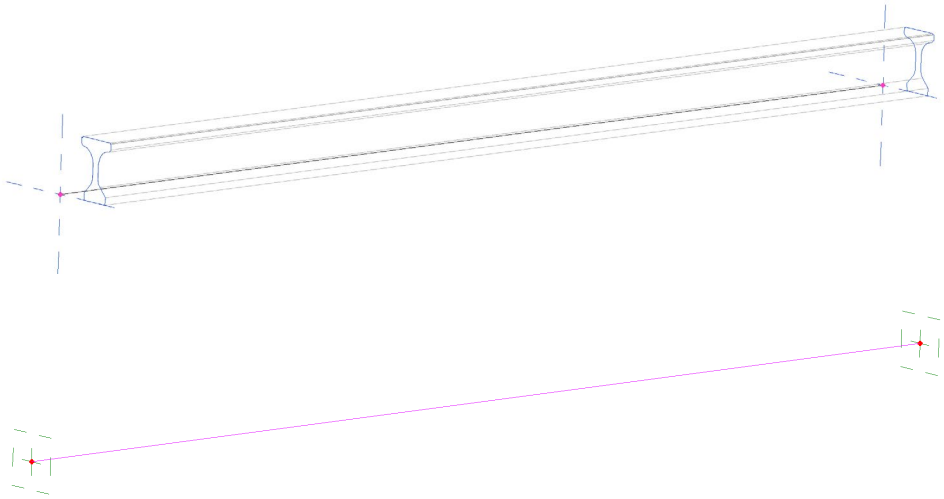


Рис. 3.44. Расположение профилей железобетонной балки вдоль траектории (вверху) и эскиз траектории (внизу); геометрия балки изолирована от других элементов семейства эстакадного участка

Итоговое сборочное семейство включает укрупненную модель эстакадного участка, отдельные семейства опор основного пролетного строения и сборочное семейство сталежелезобетонного пролетного строения. Дополнительно в нем размещены отдельные экземпляры опор освещения, водоотводных устройств, стоек барьерного ограждения и элементов заполнения перильного ограждения.

Часть ближайшего окружения была создана непосредственно в итоговом семействе. К ней относятся подпорная стенка набережной, основные поверхности рельефа, отдельные участки тротуаров и газонов. Эти элементы выполнены преимущественно с помощью выдавливания и служат пространственной основой для размещения мостового сооружения.

Рельеф прилегающей территории передан в упрощенном виде и не обладает инженерной точностью. На существующем участке автомобильная дорога имеет сложный продольный профиль с постепенным повышением отметок по направлению движения. Точное воспроизведение этого профиля потребовало бы построения более подробной цифровой модели рельефа и дополнительной увязки с ней подходов, тротуаров, газонов и других элементов территории.

Поскольку основным объектом демонстрации являлось мостовое сооружение, рельеф был упрощен до геометрии, достаточной для восприятия положения сооружения в окружающей среде. Такое допущение позволило сосредоточить внимание на конструкциях моста и избежать избыточной детализации участков, не оказывающих существенного влияния на итоговую видеопрезентацию.

При наличии заранее подготовленной цифровой модели местности, разработанной специалистами по генеральному плану или смежным разделам проекта, она может быть передана в Revit либо непосредственно импортирована в программу визуализации. Такой подход позволяет с высокой точностью воспроизвести рельеф участка строительства, прилегающие дороги, откосы, набережные и другие элементы территории.

Вместе с тем для задач фото- и видеовизуализации максимальная инженерная точность рельефа требуется не всегда. Ее применение оправдано в тех случаях, когда особенности местности непосредственно влияют на проектное решение, являются предметом анализа либо должны быть достоверно показаны в итоговых материалах. В остальных случаях допустимо использовать упрощенную геометрию, сохраняющую основные высотные соотношения и характер окружающего пространства.

Окружение моделировалось комбинированным способом. В Revit были сформированы элементы, положение и геометрия которых непосредственно связаны с мостом: укрупненный рельеф, набережная, тротуары, газоны и подпорные стены. Более детальное городское окружение

было добавлено позднее в программе визуализации. В него вошли характерные здания, растительность, объекты пешеходной инфраструктуры, автомобили, пешеходы, малые архитектурные формы и другие элементы наполнения сцены.

Такое разделение позволило сохранить в Revit основные пространственные связи сооружения с территорией и одновременно использовать готовые библиотеки программы визуализации для быстрого наполнения и детализации городской среды.

Рассматриваемая модель не является полной рабочей информационной моделью: ее структура и детализация подчинены задачам визуального представления. В ней сочетаются параметрические вложенные семейства, повторно используемые компоненты и геометрия, созданная внутри сборочных семейств. На этом примере видно, какие элементы целесообразно выделять в самостоятельные семейства, какие допустимо упрощать и как назначение модели влияет на выбор инструментов.

Контрольные вопросы

1. Что такое семейство, тип и экземпляр? Как они связаны с категорией?
2. Какие инструменты создания геометрии применяются внутри семейств? Для каких элементов подходит каждый из них?
3. Зачем элементы мостового сооружения разделяют на отдельные семейства?
4. Как подготовить модель Revit к передаче в программу визуализации?
5. Какие допущения приняты в модели рассматриваемого сооружения? В каких случаях они недопустимы?
6. Как разместить элемент с продольным уклоном и как задать угол наклона через уклон?
7. Для каких задач, помимо визуализации, может использоваться модель и каковы ее ограничения?

4. Инструменты для визуализации моделей мостовых сооружений

Цель главы — освоить получение статических изображений и видеороликов мостового сооружения в V-Ray и Twinmotion, а также приемы нейросетевой постобработки. В результате изучения главы обучающийся должен:

- знать основные настройки материалов, освещения, камер и параметров расчета;
- уметь получать итоговые изображения и видеоролики, достоверно передающие проектное решение;
- уметь применять нейросетевые инструменты с проверкой результата и указанием использованного инструмента.

4.1. Статическая визуализация в V-Ray

V-Ray — система рендеринга компании Chaos, которая подключается в виде модуля (плагина) к программам трехмерного моделирования, в том числе к SketchUp, 3ds Max, Revit и Rhino. Подробная информация о модуле доступна в справочных материалах [16]. Модуль работает непосредственно в среде исходной программы и позволяет получать на основе модели фотореалистичные изображения. Для Revit существует аналогичный модуль V-Ray for Revit; приемы работы с материалами, освещением и камерами в нем во многом совпадают.

В настоящем пособии V-Ray рассматривается как модуль для SketchUp. К его основным особенностям относятся:

- интерфейс и логика работы инструментов близки к SketchUp, поэтому базовые приемы осваиваются достаточно быстро;
- при относительной простоте модуль имеет широкие возможности настройки материалов, освещения, камеры и параметров расчета;
- расчет может выполняться как на центральном процессоре (CPU), так и на видеокарте (CUDA, RTX), что позволяет подобрать режим под имеющийся компьютер;

– доступна обширная библиотека готовых материалов, объектов и окружений Chaos Cosmos, а также возможность создавать и загружать собственные ресурсы.

После установки модуля в SketchUp через «Вид» → «Панели инструментов» становятся доступны четыре новые панели:

– «V-Ray for SketchUp» — основные настройки визуализации;



– «V-Ray Lights» — инструменты создания источников света;



– «V-Ray Objects» — инструменты работы с объектами, в том числе с загружаемыми из библиотеки моделями растительности, людей и автомобилей;



– «V-Ray Utilities» — вспомогательные инструменты для работы с текстурами и элементами V-Ray в окне SketchUp.



Панели включаются флажками в списке и размещаются в удобном месте рабочего окна (рис. 4.1).

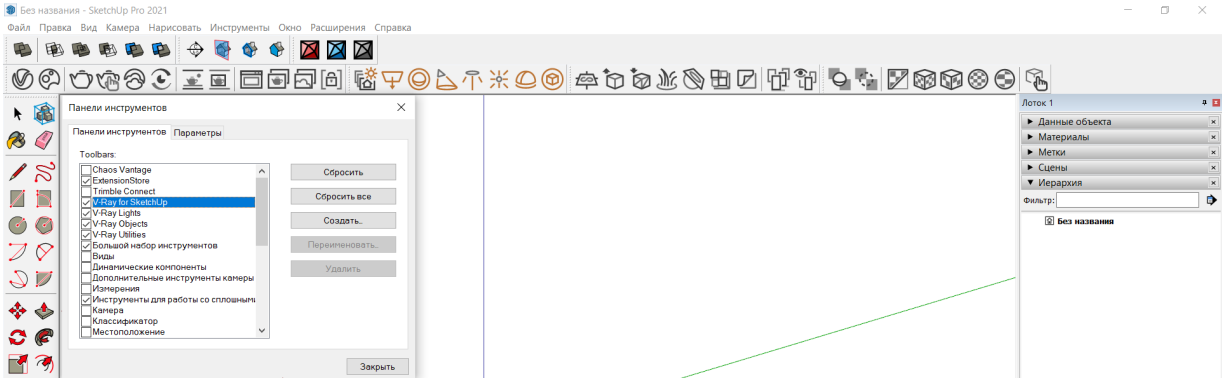


Рис. 4.1. Включение панелей инструментов V-Ray

4.1.1. Основы процесса визуализации

Рендеринг — расчет двумерного растрового изображения трехмерной сцены с учетом взаимодействия света с поверхностями: отражения, преломления, рассеивания и теней. В отличие от снимка рабочего окна программы моделирования, рендер передает свойства материалов и освещения и позволяет получить изображение, близкое к фотографии (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Снимок рабочего окна SketchUp (вверху) и итоговый рендер V-Ray (внизу)

При проектировании мостовых сооружений визуализация используется прежде всего для подготовки материалов к презентации проекта: она показывает, как сооружение будет выглядеть после завершения строительства, и помогает оценить архитектурные решения.

Последовательность создания визуализации в V-Ray включает следующие этапы:

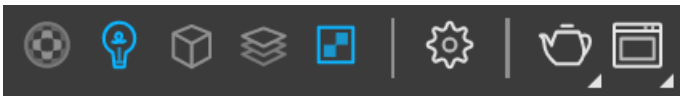
1. определение сцен (положений камеры), которые требуется визуализировать;
2. назначение объектам модели материалов из библиотеки V-Ray;
3. создание естественного освещения (небесной сферы) и настройка его направления для выбранной сцены;
4. включение искусственного освещения, если оно предусмотрено в сцене;
5. добавление элементов окружения: тумана, растительного покрова, дополнительных объектов и т. д.;
6. настройка параметров и запуск рендеринга.

Далее рассматриваются основные инструменты и настройки V-Ray, необходимые для выполнения этих этапов.

4.1.2. Основные настройки визуализации

Основные настройки собраны в редакторе «Asset Editor» . Боковые панели редактора раскрываются стрелками по краям окна (рис. 4.3):

– В верхней части окна расположены вкладки категорий: материалы, источники света, геометрия, элементы рендера, текстуры, настройки и инструменты рендеринга.



– В левой части окна находится библиотека материалов V-Ray; при первом запуске программа может предложить загрузить ее.

– В правой части отображаются параметры выбранного объекта V-Ray.

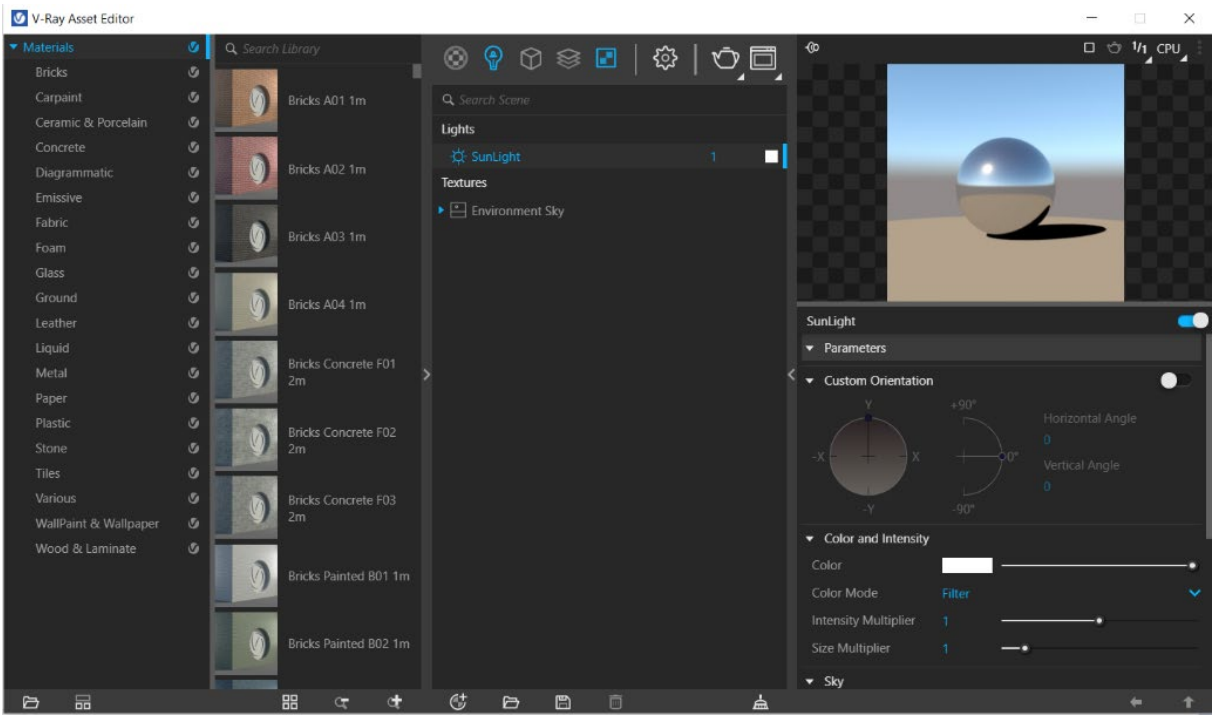


Рис. 4.3. Окно редактора Asset Editor

Для оценки результата в процессе настройки используется интерактивный рендеринг, при котором изображение пересчитывается сразу после изменения сцены. Его параметры задаются в настройках  (рис. 4.4).

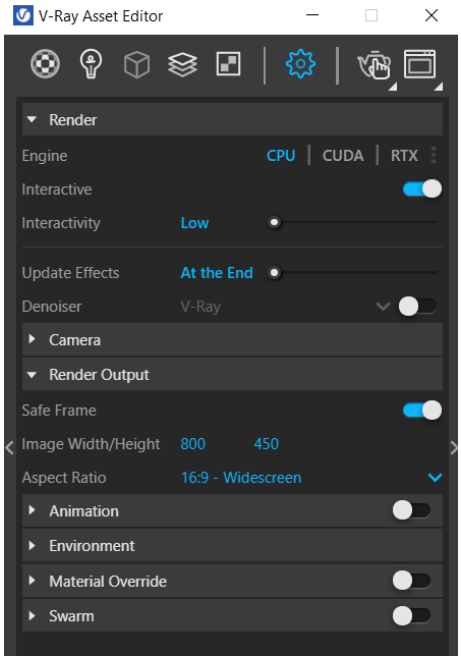


Рис. 4.4. Параметры интерактивного рендеринга

Окно визуализации (V-Ray Frame Buffer) открывается кнопкой ; в нем отображаются объекты модели SketchUp (рис. 4.5). Боковые панели окна на этом этапе не нужны, их можно скрыть двойным щелчком по границе. Интерактивный рендеринг целесообразно выполнять с пониженным качеством и разрешением: при каждом изменении вида в SketchUp изображение пересчитывается заново, и высокие настройки излишне нагружают компьютер. Для итогового изображения параметры задаются отдельно (см. п. 4.1.3). Расчет приостанавливается кнопкой  и возобновляется кнопкой .

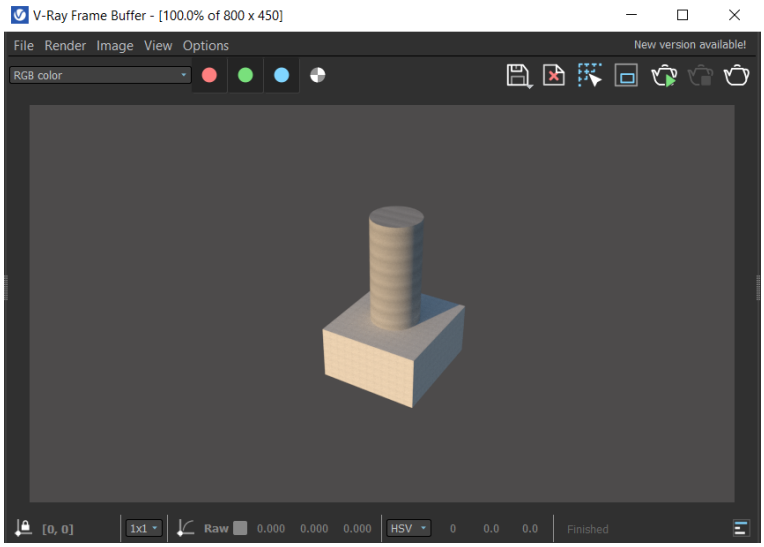


Рис. 4.5. Окно интерактивной визуализации V-Ray Frame Buffer

Работа с материалами выполняется на вкладке . Чтобы назначить материал V-Ray объекту SketchUp, его находят в библиотеке и перетаскивают в центральную часть окна (рис. 4.6). В качестве примера можно найти через поиск материалы стали и бетона. В списке автоматически отображаются и материалы SketchUp, уже назначенные объектам модели, а добавленный материал V-Ray появляется в лотке на вкладке «Материалы» в папке «В модели».

Материал SketchUp описывается в основном цветом или текстурой, тогда как материал V-Ray состоит из нескольких слоев и параметров:

диффузного цвета, отражения (Reflection), преломления (Refraction), глянцевости и др. Параметры материала отображаются в правой части окна. Материалы можно настраивать, копировать, переименовывать, добавлять к ним слои текстур или создавать собственные. Например, чтобы получить такой же материал другого цвета, его копируют, отключают текстурную карту параметра Color флажком рядом с ним и задают нужный цвет.

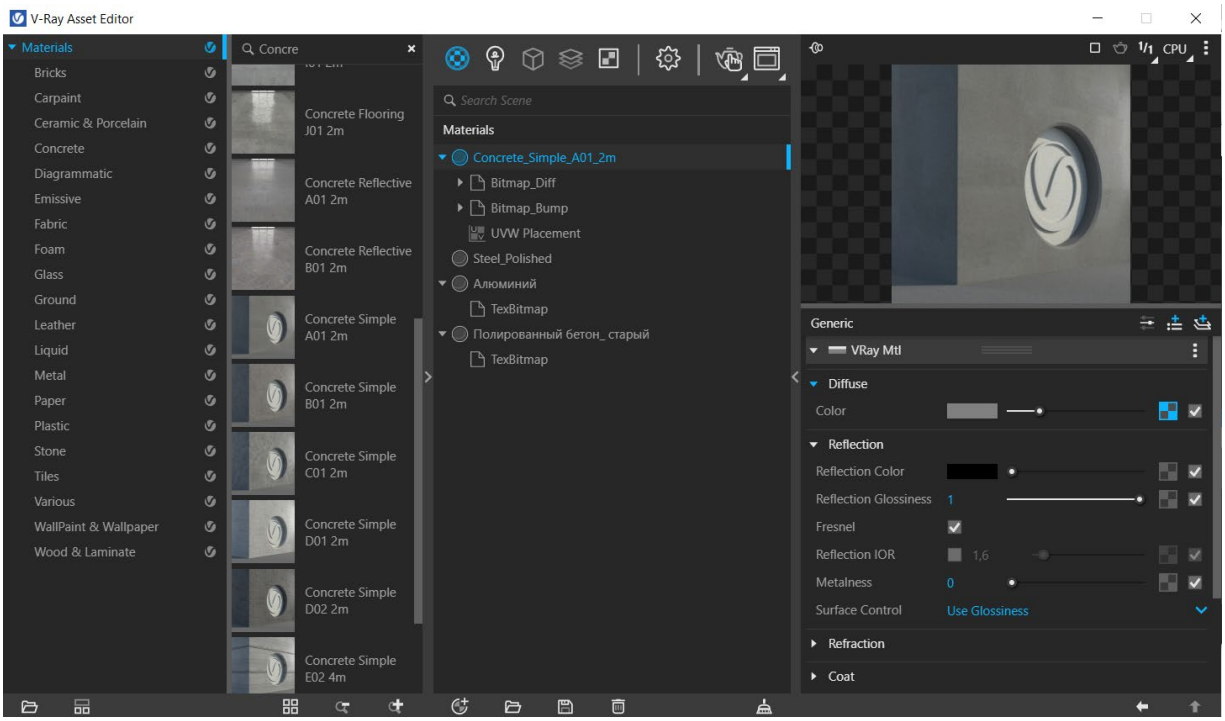


Рис. 4.6. Добавление материалов из библиотеки V-Ray

Материал V-Ray назначается объекту так же, как обычный материал SketchUp: в лотке на вкладке «Материалы» в папке «В модели» выбирается нужный материал, после чего им заливается выделенный объект, группа или компонент (рис. 4.7). После возобновления интерактивного рендеринга видны изменения: на бетоне проявляется шероховатость, а стальной цилиндр отражает свет и соседнюю бетонную призму (рис. 4.8).

Важно отметить, что для отображения теней необходима поверхность, на которую они будут падать: без нее объекты фактически находятся в воздухе. Такую поверхность создает инструмент «Infinite Plane» : достаточно щелкнуть им по нижней грани призмы (рис. 4.9).

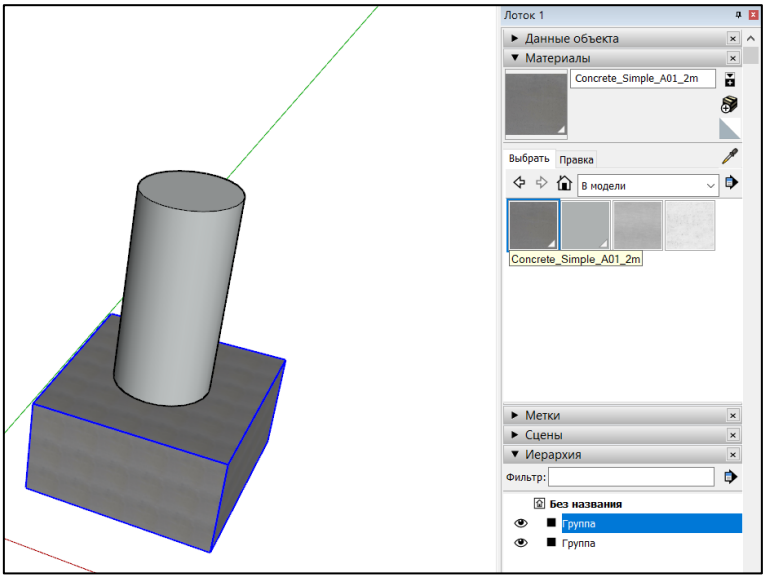


Рис. 4.7. Назначение материала V-Ray через лоток «Материалы»

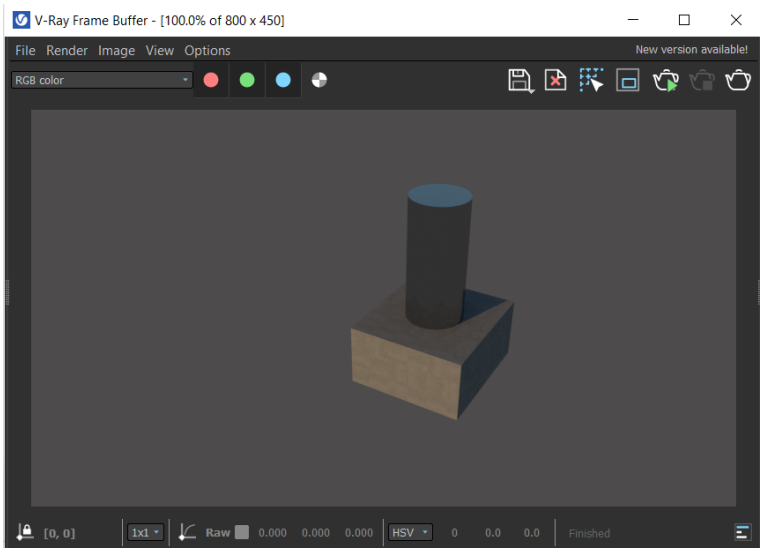


Рис. 4.8. Результат интерактивного рендеринга после назначения материалов

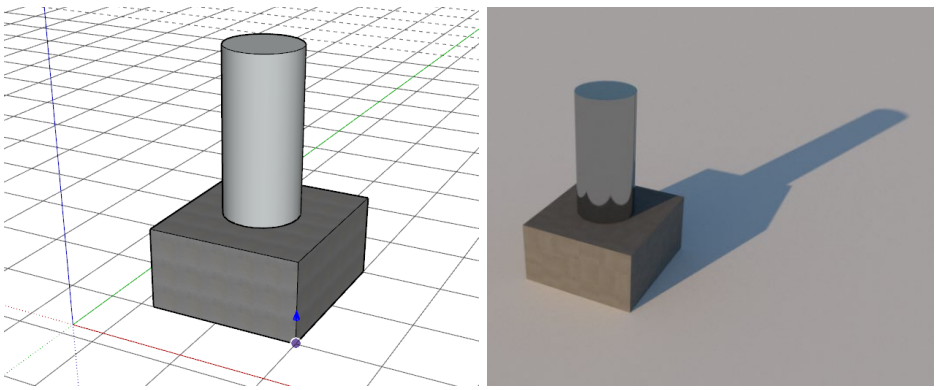


Рис. 4.9. Создание бесконечной плоскости Infinite Plane (слева — плоскость в окне SketchUp, справа — результат расчета с тенью)

В V-Ray предусмотрено несколько типов источников света: солнце (Sunlight), купольный (Dome Light), прямоугольный (Rectangle Light), сферический (Sphere Light), конусный (Spot Light), фотометрический (IES Light), точечный (Omni Light) и источник на основе геометрии (Mesh Light). Для мостовых сцен чаще всего применяются следующие:

1. Купольный источник «Dome Light»  создает освещение от небесной сферы. Его размещают на плоскости, после чего он появляется в редакторе . Солнечный свет (Sunlight) включен по умолчанию; при необходимости его отключают щелчком по значку, и значок становится тусклым. В иерархии модели источник света является компонентом: его можно перемещать, поворачивать и копировать. Если включить параметр «Use Transform», освещение будет поворачиваться вместе с компонентом. Яркость задается параметром «Intensity», например ее можно увеличить с 1 до 2. В качестве текстуры купола может быть загружено другое изображение окружения — панорамное изображение с расширенным динамическим диапазоном (HDRI), которое одновременно служит фоном, источником естественного освещения и отражений (рис. 4.10).

2. Сферический источник «Sphere Light»  применяется для имитации ламп, светильников и других точечных источников. В настройках задается размер сферы; яркость по умолчанию невелика, и ее обычно увеличивают. Искусственный свет чаще всего теплый, поэтому цвет источника целесообразно сместить к желтому (рис. 4.11).

3. Конусный источник «Spot Light»  направляет свет в заданную сторону, например вниз от светильника. Источник не должен находиться внутри другого объекта, иначе свет будет перекрыт. В настройках задаются угол конуса (Cone Angle), ширина и характер

зоны полутени (Penumbra Angle, Penumbra Falloff), а также затухание (Decay), см. рис. 4.12.

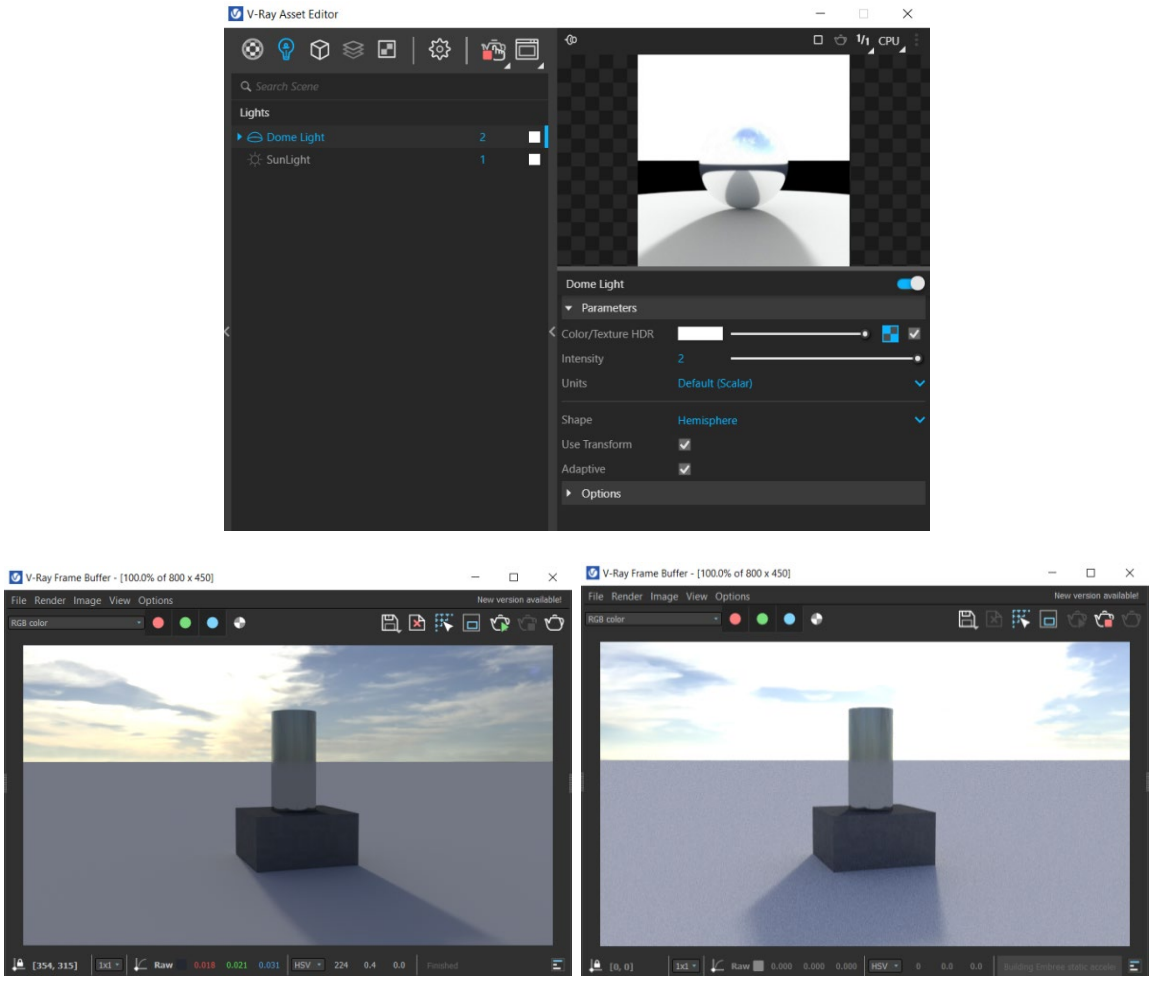


Рис. 4.10. Настройка купольного источника Dome Light и результат расчета (вверху — параметры источника, внизу — результаты расчета)

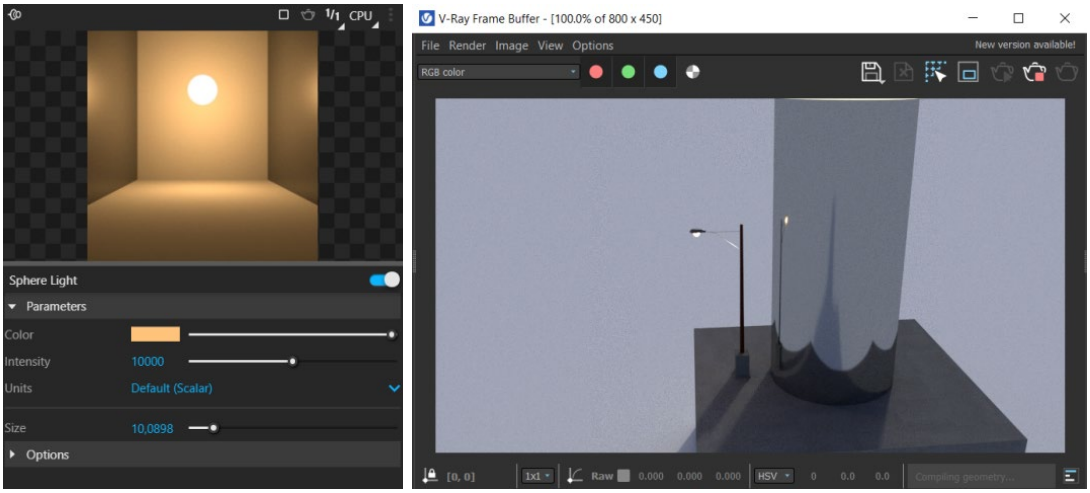


Рис. 4.11. Настройка сферического источника Sphere Light (слева — параметры источника, справа — результат расчета)

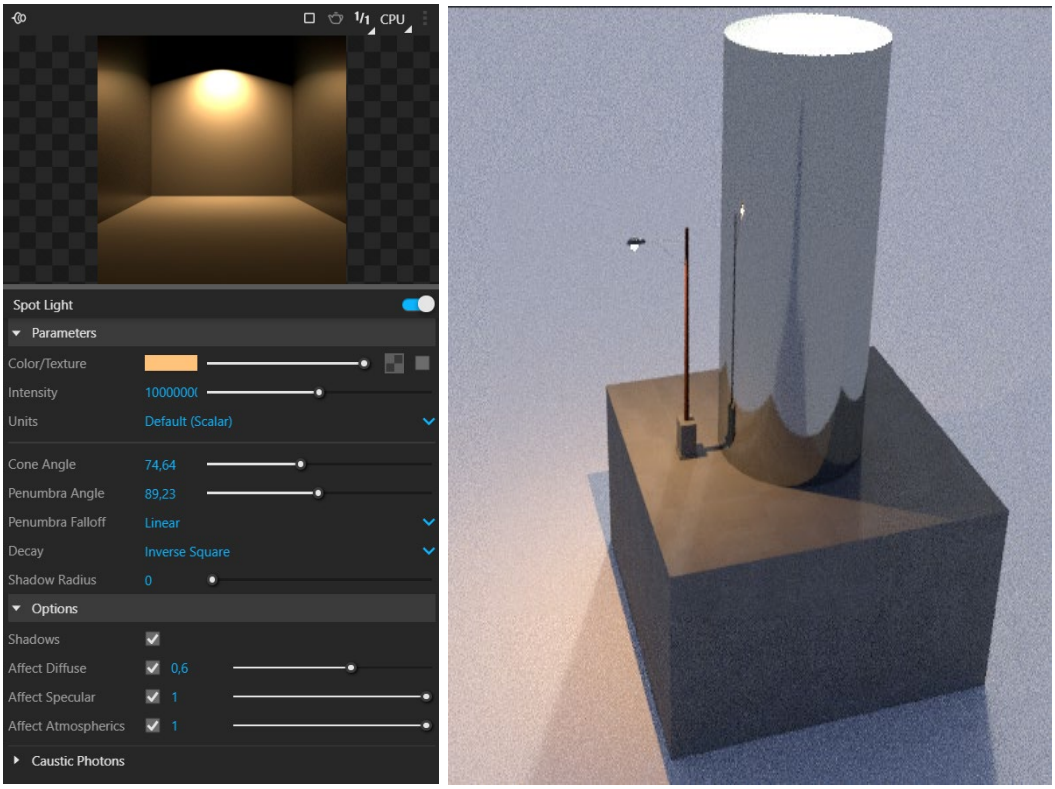


Рис. 4.12. Настройка конусного источника Spot Light (слева — параметры источника, справа — результат расчета)

Для настройки окружения используется инструмент «Chaos Cosmos» , открывающий библиотеку ресурсов высокого разрешения: моделей, материалов и изображений окружения. Для загрузки ресурсов требуется учетная запись Chaos. Например, для оценки искусственного освещения можно создать ночное небо: в фильтре HDRIs выбирается и загружается подходящее изображение, затем создается еще один источник «Dome Light»  с отдельным именем, а первый купол отключается. Щелчком по значку текстуры выбирается загруженное изображение (по умолчанию Cosmos сохраняет ресурсы в папку «Документы» → «Chaos Cosmos» → «Packages»), после чего яркость «Intensity» уменьшается.

Загруженные модели окружения добавляются в сцену инструментом импорта  (рис. 4.13).

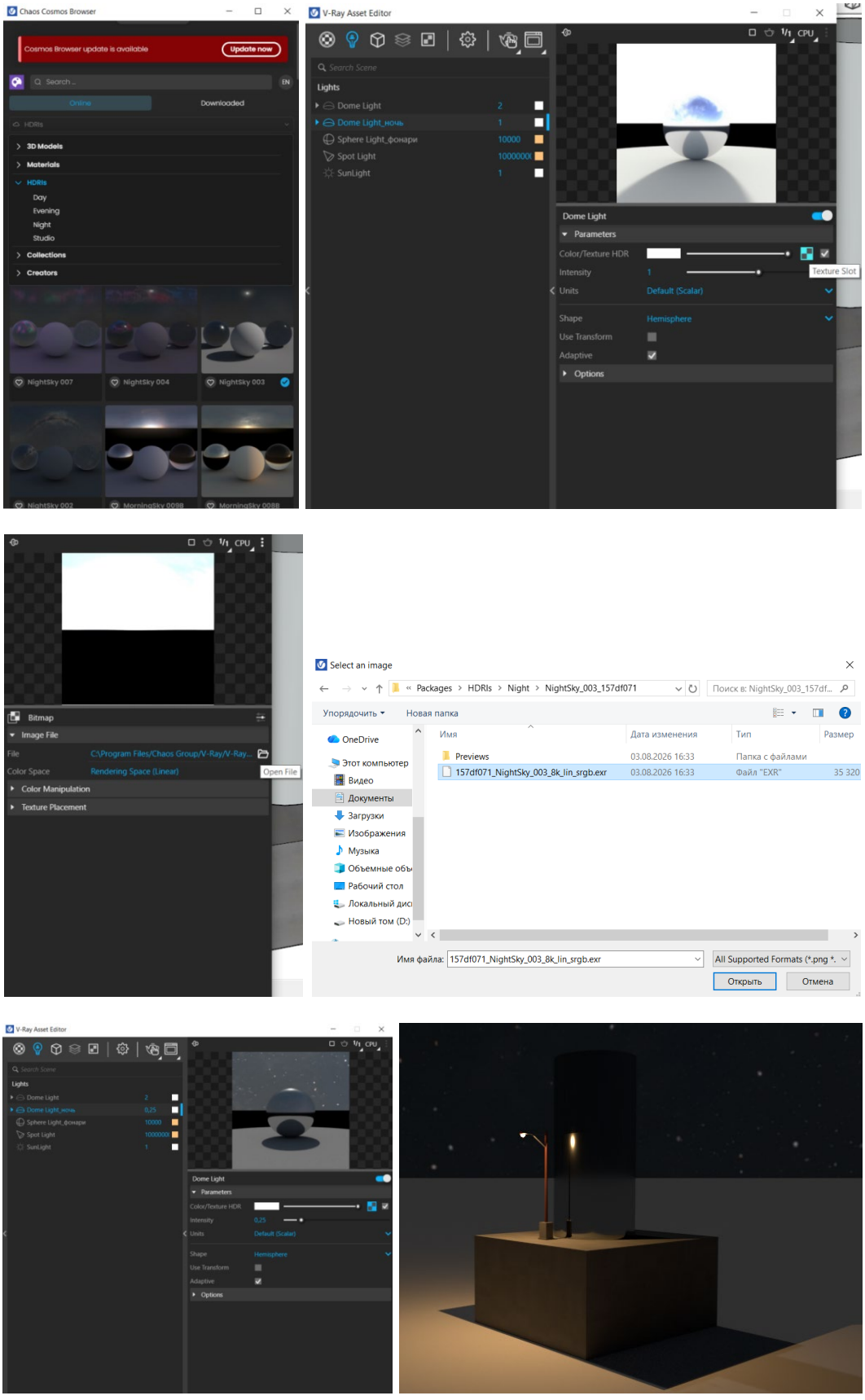


Рис. 4.13. Загрузка ночного неба из библиотеки Chaos Cosmos и результат расчета (сверху вниз: выбор HDRI в Chaos Cosmos, выбор файла текстуры, результат расчета)

4.1.3. Рекомендации по выполнению визуализации

Рекомендации приведены в порядке этапов, перечисленных в п. 4.1.1.

1. Определение сцен (положений камеры).

Перед выбором ракурсов рекомендуется продлить рельеф за пределы сооружения, чтобы край модели не попадал в кадр, и вместо параллельной проекции включить перспективу («Камера» → «Перспектива», рис. 4.14). Важной настройкой является угол обзора, который задается инструментом «Масштаб» ; текущее значение отображается в правом нижнем углу окна. По умолчанию в SketchUp принят угол 35°, а для изображений, близких к восприятию человека, обычно используют 45–60°. Нужное значение, например 50, вводится с клавиатуры.

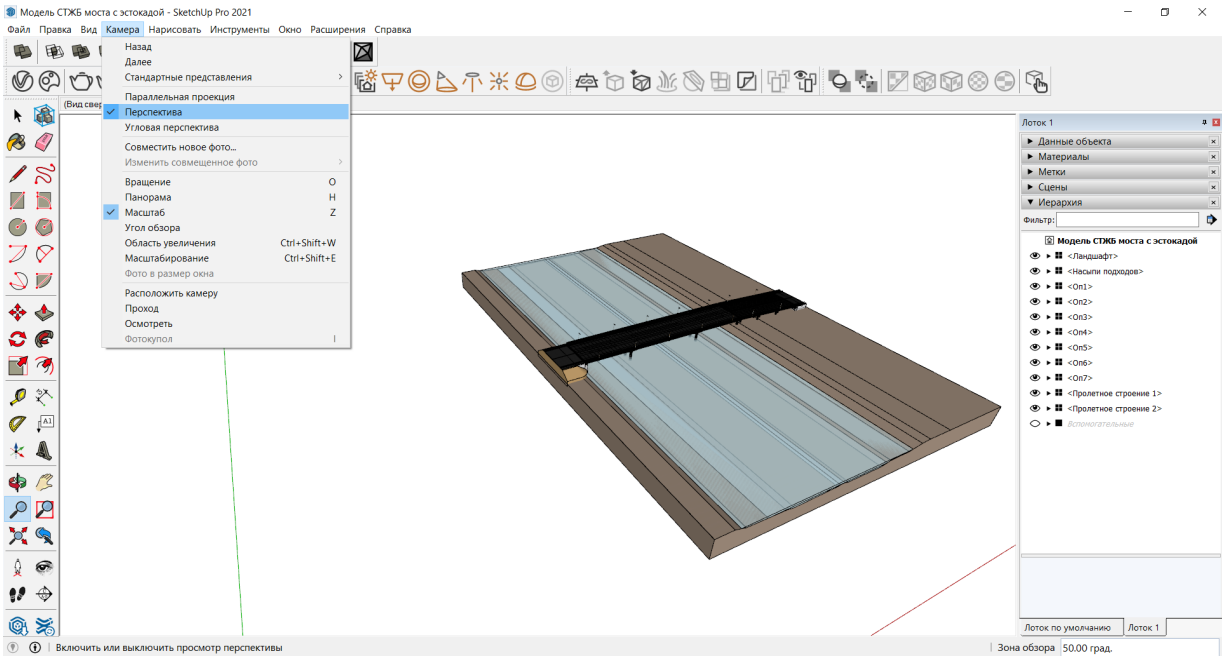


Рис. 4.14. Включение перспективы и настройка угла обзора

Затем выбираются несколько видов для демонстрации проекта, например общий вид моста и вид с проезжей части или тротуара. Для реалистичного вида с уровня глаз используется инструмент «Расположить камеру» : курсор наводится на точку наблюдения, с клавиатуры вводится высота глаз (около 1600–1700 мм), после чего выполняется щелчок (рис. 4.15).

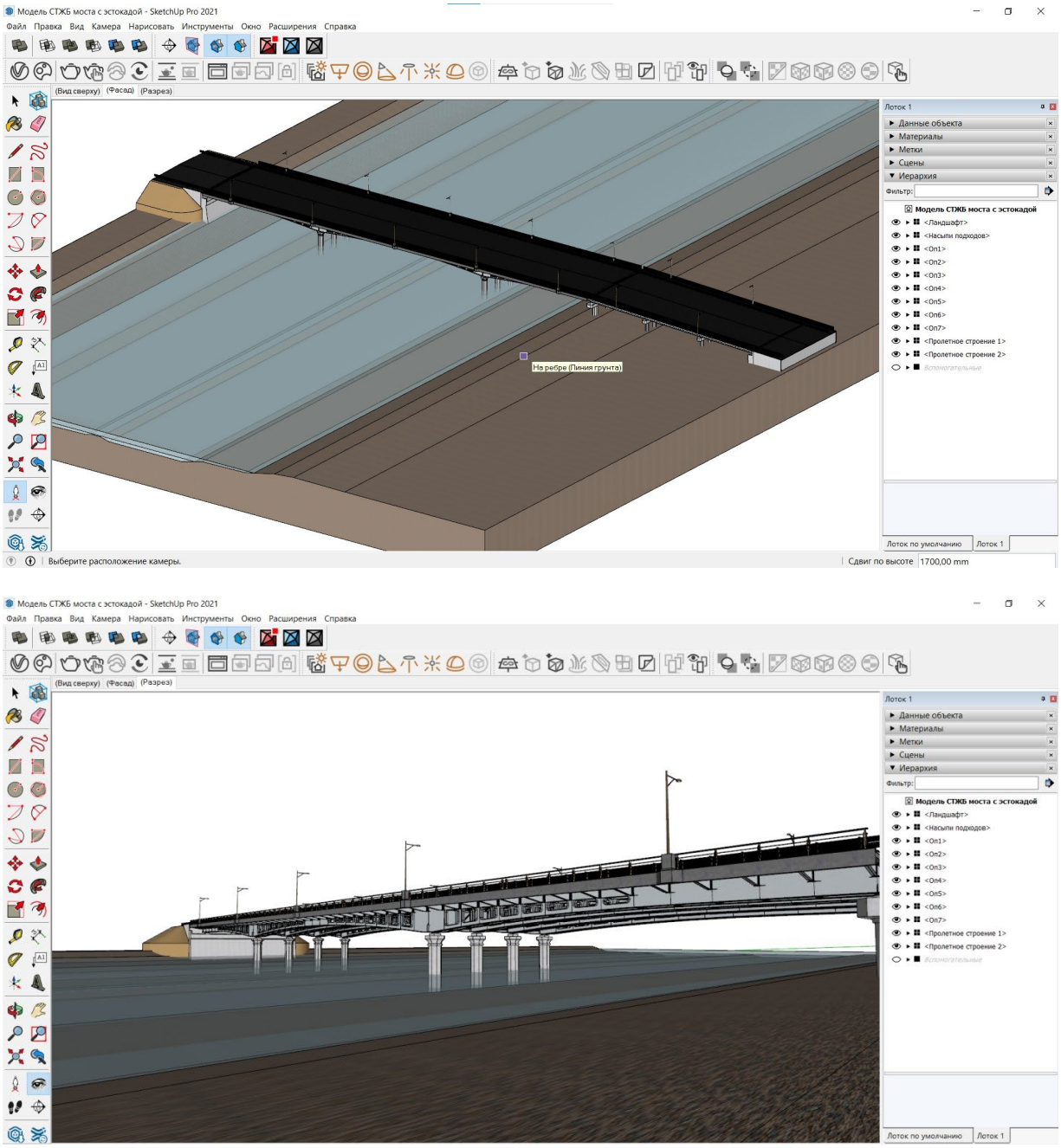


Рис. 4.15. Установка камеры на уровне глаз наблюдателя (вверху — установка камеры, внизу — полученный вид)

После установки камеры автоматически включается инструмент «Осмотреть» : при удержании левой кнопки мыши камера поворачивается вокруг точки наблюдения. Инструментами «Проход»  и «Осмотреть» можно перемещаться по модели так, как это делал бы пешеход, и выбрать нужный ракурс. Найденный вид сохраняется как сцена в лотке «Сцены»; процедура повторяется для остальных видов (рис. 4.16).

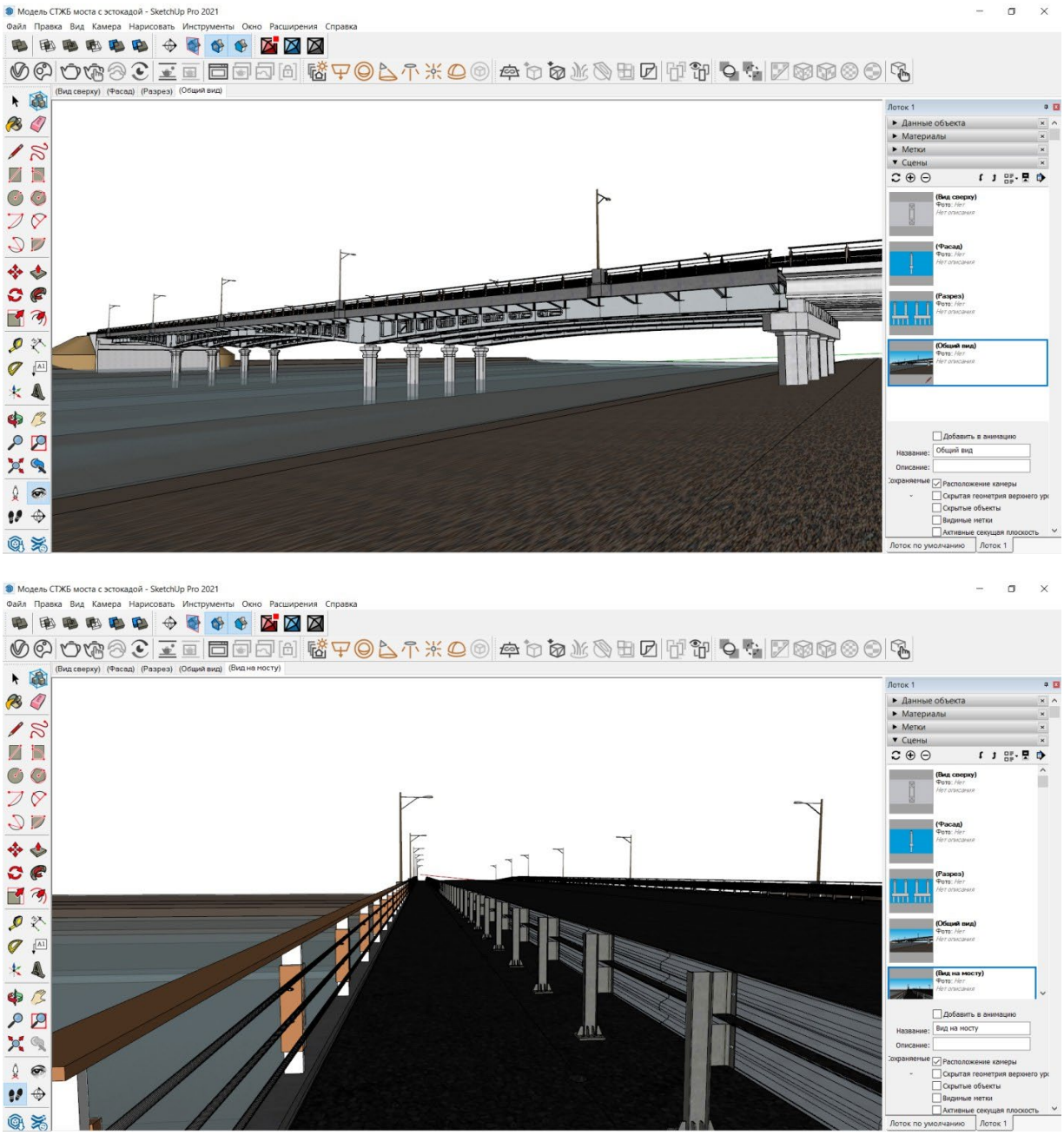


Рис. 4.16. Сохранение выбранных видов в виде сцен (вверху — общий вид, внизу — вид с моста)

2. Назначение материалов из библиотеки V-Ray.

Материалы назначаются так же, как описано в п. 4.1.2: в редакторе «Asset Editor» находят нужные материалы, добавляют и при необходимости настраивают их, после чего назначают элементам модели. В модели мостового сооружения много объектов и, соответственно, материалов, поэтому им следует давать понятные названия и не допускать дублирования.

Назначение материалов удобно выполнять при открытом окне интерактивной визуализации, чтобы сразу контролировать результат.

Отдельного внимания требует материал воды. По умолчанию глянцевость отражения и преломления (Reflection Glossiness, Refraction Glossiness) равна 1: отражения получаются идеально четкими, и вода выглядит как зеркало. Уменьшение этих значений, например до 0,9, делает поверхность воды более естественной (рис. 4.17).



Рис. 4.17. Настройка материала воды (слева — параметры материала, справа — результат расчета)

3. Создание естественного освещения.

Как описано в п. 4.1.2, для дневной и ночной сцен настраиваются отдельные купольные источники. Купол поворачивается так, чтобы мост был хорошо освещен на выбранных ракурсах (рис. 4.18).

4. Включение искусственного освещения.

Для фонарных опор и других светильников на мосту создаются сферические и конусные источники света (см. п. 4.1.2).

Источники света V-Ray являются в SketchUp компонентами. Если создать их внутри компонента фонарной опоры, они автоматически появятся во всех ее экземплярах (рис. 4.19).



Рис. 4.18. Дневная сцена с купольным освещением



Рис. 4.19. Ночная сцена с искусственным освещением

5. Добавление элементов окружения.

Удаленные объекты в реальности выглядят менее контрастными и более размытыми. Этот эффект воздушной перспективы создается с помощью тумана, который придает изображению глубину и подчеркивает планы сцены.

Туман включается в настройках : в правой части окна активируется раздел «Volumetric Environment» и выбирается тип «Environment Fog». Для него задаются цвет (Color), дальность (Distance) и высота слоя тумана (Height), см. рис. 4.20.



Рис. 4.20. Настройка тумана Environment Fog (слева — параметры тумана, справа — результат расчета)

Для более реалистичного рельефа можно добавить объемную траву инструментом «Fur» , применив его к группе или компоненту. Параметры травы (длина, толщина и др.) изменяются на вкладке . Инструмент значительно увеличивает нагрузку на компьютер, поэтому его отображение рекомендуется отключать на время настройки сцены и включать перед итоговым расчетом (рис. 4.21).

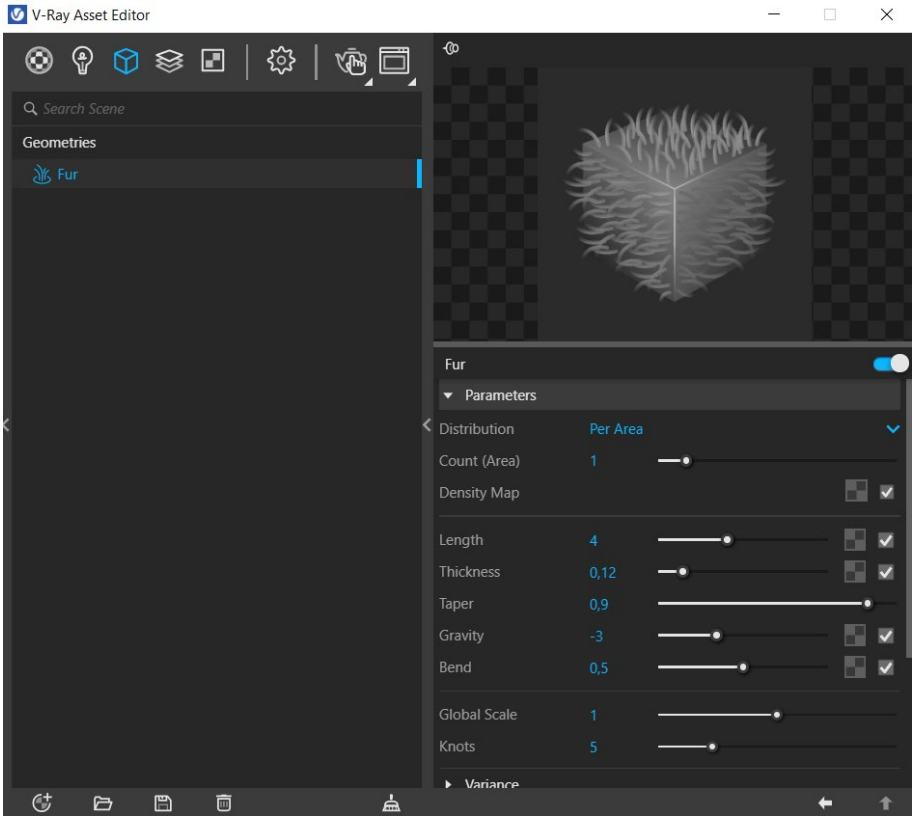


Рис. 4.21. Параметры объемной травы Fur

При необходимости сцену дополняют объектами из библиотеки «Chaos Cosmos» .

6. Настройка и запуск рендеринга.

   В настройках выполняются следующие действия:

   a. на вкладке «Render» выбирается вычислительное устройство (CPU, CUDA или RTX), отключаются режимы Interactive и Progressive, задается качество изображения (Quality) и включается шумоподавление (Denoiser);

   b. на вкладке «Render Output» задаются разрешение итогового изображения, папка для сохранения и тип файла (рис. 4.22);

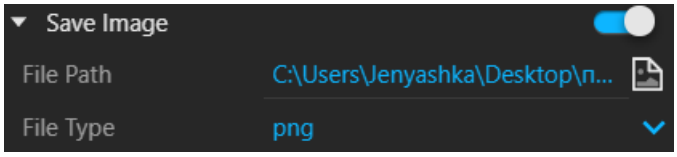


Рис. 4.22. Параметры сохранения изображения

c. в правой части окна проверяется, что включены разделы Global Illumination, Volumetric Environment и Denoiser;

d. включаются остальные элементы сцены: нужное освещение (дневное или ночное), трава и др. (рис. 4.23);

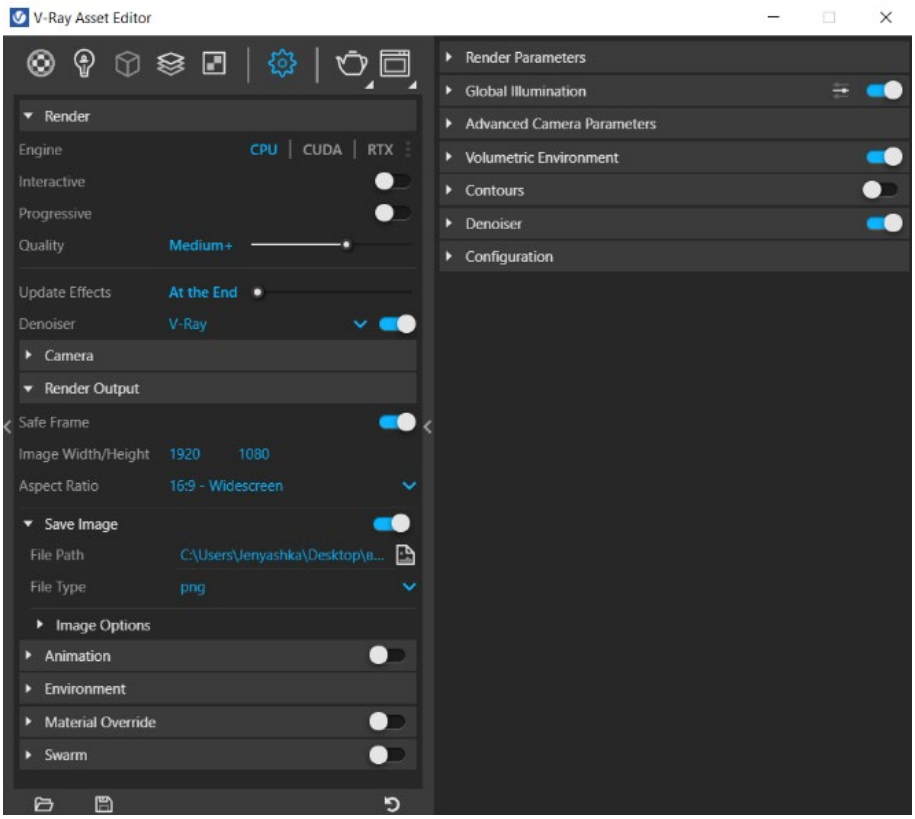


Рис. 4.23. Итоговые настройки рендеринга

e. расчет запускается кнопкой .

Итоговые визуализации представлены на рис. 4.24.



Рис. 4.24. Итоговые визуализации: общий вид и вид с моста в дневное и ночное время

После завершения расчета изображение появляется в окне визуализации. Его можно скорректировать инструментами правой панели окна; если боковые панели скрыты, они раскрываются двойным щелчком по краю окна (рис. 4.25).

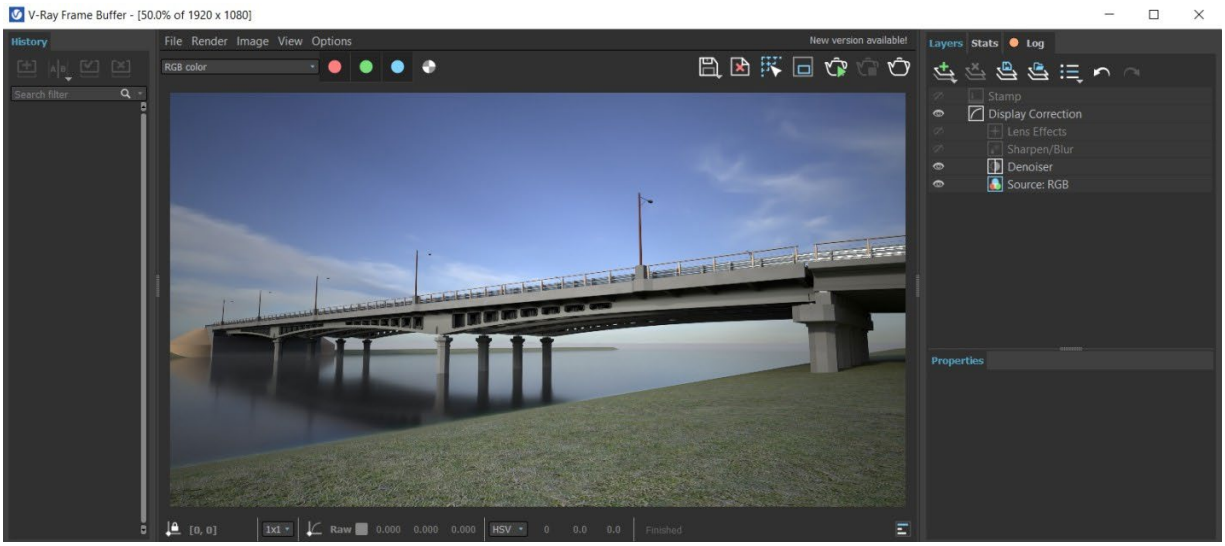


Рис. 4.25. Корректировка изображения в окне V-Ray Frame Buffer

Перед расчетом можно также настроить разделение изображения на слои (по материалам, объектам, освещению и т. д.) на вкладке элементов рендера . В этом случае V-Ray сохраняет несколько файлов с выбранными слоями, что удобно для последующей обработки в графических редакторах, например в Adobe Photoshop (рис. 4.26).

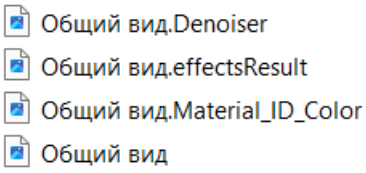


Рис. 4.26. Файлы слоев рендера

Подробнее возможности V-Ray для SketchUp описаны в документации и учебных материалах компании Chaos, а также в видеоуроках на официальных ресурсах Chaos и Trimble.

Контрольные вопросы

1. Какие этапы включает создание визуализации в V-Ray?
2. Для чего используется интерактивный рендеринг и почему его выполняют с пониженным качеством?
3. Чем материал V-Ray отличается от материала SketchUp? Какие параметры определяют отражение и преломление?
4. Какие типы источников света есть в V-Ray? Для чего применяются Dome Light, Sphere Light и Spot Light?
5. Как установить камеру на уровне глаз наблюдателя и какой угол обзора рекомендуется?
6. Для чего применяются туман (Environment Fog) и объемная трава (Fur)?
7. Какие настройки задаются перед итоговым расчетом? Для чего нужны элементы рендера (Render Elements)?

4.2. Статическая и динамическая визуализация в Twinmotion

4.2.1. Описание и принцип работы

Twinmotion представляет собой программное обеспечение для визуализации трехмерных моделей в режиме реального времени. Подробная информация о программе доступна в документации разработчика [18]. Программа применяется для создания статических изображений, видеороликов, панорам и интерактивных презентаций, предназначенных для наглядного представления проектных решений.

Как правило, исходная геометрия объекта создается в специализированной программе моделирования, после чего передается в Twinmotion для последующей визуальной настройки. Таким образом, Twinmotion используется преимущественно не для разработки конструктивной модели сооружения, а для формирования сцены на основе уже подготовленной геометрии.

Работа программы основана на технологиях игрового движка Unreal Engine. Пользователь может в интерактивном режиме изменять материалы, освещение, окружение, положение камеры, погодные условия и другие параметры, сразу оценивая результат в рабочем окне. Это отличает Twinmotion от систем предварительного расчета кадра, в которых итоговое качество изображения достигается только после отдельного, более длительного расчета.

При визуализации мостовых сооружений в Twinmotion может быть импортирована модель самого моста вместе с отдельными элементами прилегающей территории. После загрузки модели выполняются настройка материалов, создание рельефа и водной поверхности, добавление растительности, транспорта, людей, городской инфраструктуры и других объектов окружения. Далее настраиваются освещение, время суток, погодные условия, камеры и параметры итогового изображения или видеоролика.

Интерфейс Twinmotion ориентирован на быстрое формирование и изменение сцены. Значительная часть операций выполняется путем выбора объектов из библиотеки, перетаскивания материалов и компонентов в рабочее пространство, а также настройки их свойств через соответствующие панели. Благодаря этому программа может применяться как для профессиональной подготовки презентационных материалов, так и в учебных целях. Принципиальный алгоритм работы в Twinmotion приведен на рис. 4.27.

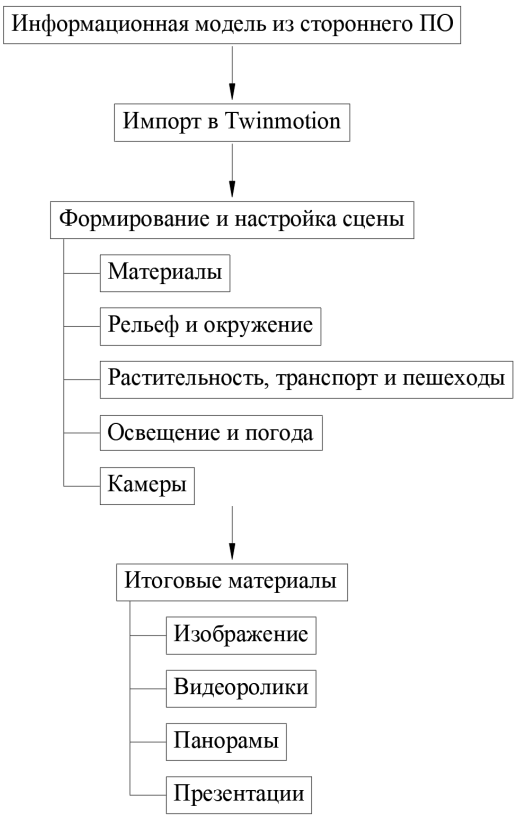


Рис. 4.27. Последовательность работы в Twinmotion

4.2.2. Параметры импортируемых файлов

Работа в Twinmotion начинается с импорта исходных данных. В качестве основы может использоваться модель, подготовленная в Revit, SketchUp, Archicad, Rhino, 3ds Max, Civil 3D, Blender или другой программе трехмерного моделирования.

Twinmotion позволяет импортировать геометрию, анимацию, модели рельефа и облака точек. При визуализации мостового сооружения обычно

передаются модель самого моста и отдельные элементы прилегающей территории: рельеф, дороги, откосы, береговые линии, водные поверхности и объекты благоустройства.

Передача данных может выполняться путем импорта отдельного файла либо с помощью прямой связи с исходной программой. В зависимости от используемого программного обеспечения и версии Twinmotion для передачи геометрии могут применяться форматы FBX, SKP, OBJ, DAE, glTF, GLB и другие поддерживаемые форматы.

Для моделей, разработанных в Revit, может использоваться Direct Link — режим прямой связи между исходной моделью и сценой Twinmotion. С его помощью можно синхронизировать внесенные в Revit изменения без повторного импорта и полной настройки сцены. Такой способ особенно удобен, если модель продолжает уточняться в процессе подготовки визуализации.

При импорте необходимо выбрать способ организации геометрии в сцене. Исходная иерархия элементов может быть сохранена либо частично объединена, например по назначенным материалам. При сохранении структуры можно независимо выбирать и редактировать отдельные элементы модели, однако количество объектов в сцене увеличивается. Объединение геометрии упрощает структуру проекта, однако ограничивает возможности раздельной настройки конструкций.

Выбор параметров импорта зависит от назначения визуализации. Если предполагается отдельно настраивать опоры, пролетное строение, элементы мостового полотна и окружающей территории, их рекомендуется сохранять как самостоятельные объекты или группы. Геометрию, не требующую индивидуального редактирования, допускается объединять для упрощения сцены.

После импорта необходимо проверить масштаб и ориентацию модели, ее положение относительно начала координат, взаимное расположение отдельных частей, структуру объектов и корректность распределения

материалов. Ошибки, выявленные на этом этапе, лучше исправлять в исходной программе моделирования, а затем обновлять модель в Twinmotion.

Сцена может формироваться из нескольких источников. Например, модель сооружения может быть импортирована из одной программы, рельеф — из другой, а растительность, транспорт, люди и элементы благоустройства — добавлены из библиотек Twinmotion. При совмещении нескольких файлов необходимо учитывать единицы измерения, систему координат и взаимное положение объектов (рис. 4.28–4.29).

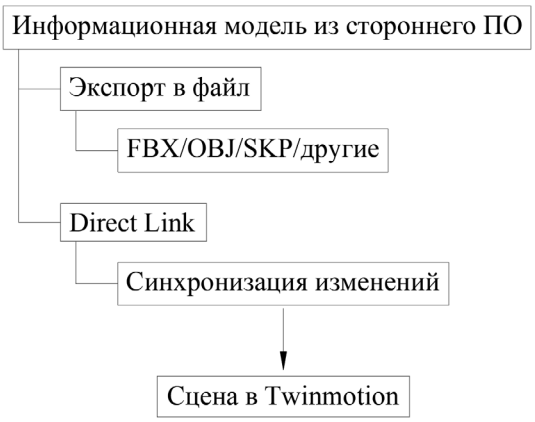


Рис. 4.28. Способы передачи модели в Twinmotion

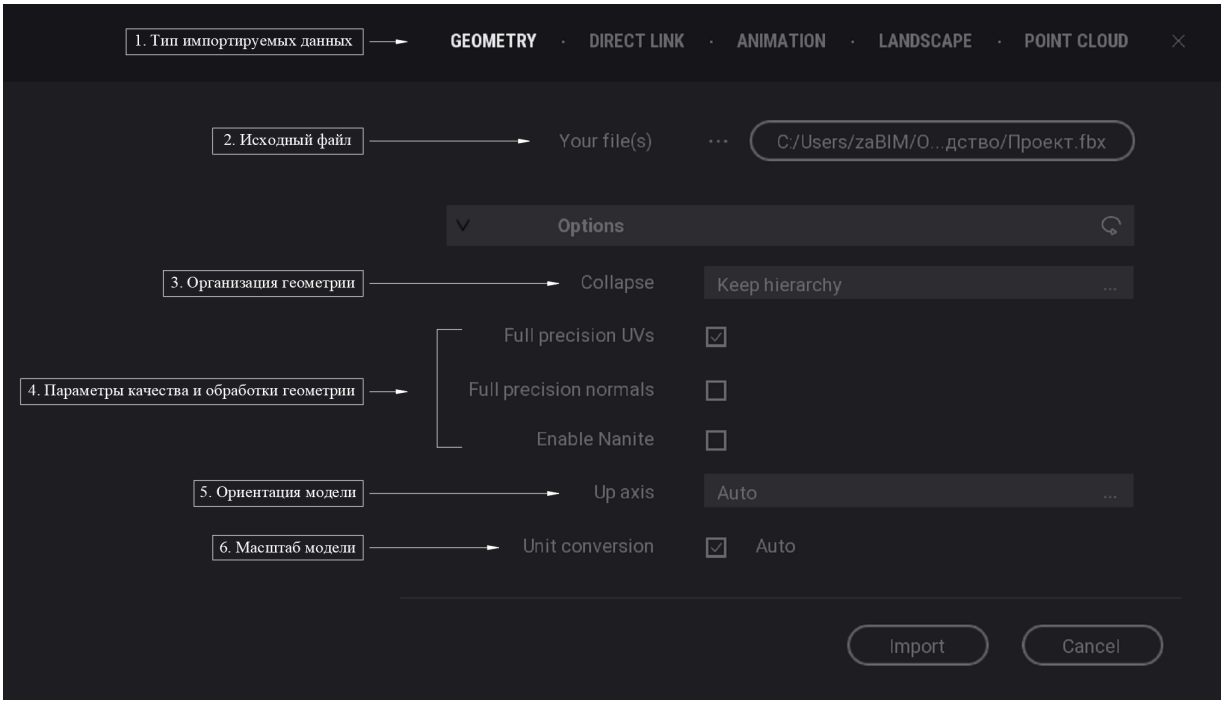


Рис. 4.29. Окно импорта модели в Twinmotion

1. Выбор типа импортируемых данных, где:
– Geometry — импорт обычного файла модели;
– Direct Link — связь с исходной программой;
– Animation — импорт анимированной геометрии;
– Landscape — импорт рельефа;
– Point Cloud — импорт облака точек.
2. Выбор исходного файла модели.
3. Способ организации импортируемой геометрии:
– Keep hierarchy (по умолчанию) — сохранить исходное разделение элементов;
– Collapse by material — объединить элементы по материалам;
– Collapse all — объединить всю модель.
4. Дополнительные параметры качества и обработки геометрии.
5. Выбор вертикальной оси модели (по умолчанию — auto).
6. Настройка единиц измерения и масштаба импортируемой модели (по умолчанию — auto).

4.2.3. Инструментарий Twinmotion

Инструментарий Twinmotion целесообразно рассматривать через основные области интерфейса и выполняемые с их помощью задачи. К ним относятся рабочее окно сцены, панель инструментов, библиотека, структура сцены, панель свойств и нижняя панель быстрого доступа.

Основная работа с моделью выполняется в рабочем окне сцены. В нем пользователь перемещается относительно объекта, выбирает элементы, оценивает назначенные материалы, освещение, окружение и положение камеры. В рабочем окне также отображается результат изменений, внесенных в настройки визуализации.

Для редактирования положения объектов используются инструменты перемещения, поворота и масштабирования. Дополнительно можно изменять точку привязки элемента, переключаться между локальной и

глобальной системами координат, а также выбирать материалы непосредственно на поверхности модели.

В нижней части интерфейса расположены основные рабочие разделы:

- Import — импорт моделей и создание прямых связей с исходными программами;
- Modeling — редактирование и оптимизация импортированной геометрии;
- Materials — создание материалов и управление материалами сцены;
- Populate — размещение растительности, объектов, транспорта и персонажей, а также создание путей движения;
- Media — создание изображений, видеороликов, панорам и других материалов;
- Export — настройка и экспорт подготовленных результатов.

Состав и расположение элементов интерфейса могут незначительно различаться в зависимости от версии программы, однако общий принцип организации рабочего пространства сохраняется.

Раздел Materials предназначен для работы с материалами, используемыми в сцене. Пользователь может создавать новые материалы, изменять их свойства и назначать их импортированной геометрии. Для визуализации мостовых сооружений особое значение имеют материалы бетона, металла, асфальтобетона, тротуарного покрытия, грунта, воды и элементов ограждения.

Раздел Populate содержит инструменты наполнения сцены. С их помощью можно размещать отдельные объекты, распределять растительность и другие элементы по заданной площади, создавать последовательности повторяющихся объектов, а также формировать пути движения автомобилей, велосипедистов, пешеходов и пользовательских моделей.

Дополнительные объекты и материалы доступны через библиотеку Twinmotion. В ней представлены растительность, транспорт, персонажи,

источники света, HDRI-окружения, городская мебель и другие элементы. Кроме встроенных ресурсов Twinmotion, библиотека может содержать объекты из подключенных каталогов и пользовательские элементы.

Структура проекта отображается на панели Scene в виде иерархического дерева. Через нее можно выбирать объекты, объединять их в контейнеры, переименовывать, скрывать и отображать отдельные элементы сцены. Понятная организация структуры особенно важна при работе с крупными моделями, состоящими из большого количества конструкций и объектов окружения.

Параметры выбранного элемента отображаются на панели свойств. Состав доступных настроек зависит от типа объекта: для материалов отображаются характеристики поверхности, для источников света — интенсивность и цвет, для объектов — положение и размеры, а для медиафайлов — параметры камеры и визуального представления.

Настройки окружающей среды и изображения сосредоточены на панели Ambience, которая включает четыре основных раздела:

- Env — освещение, небо, солнце, время суток, погода и природное окружение;
- Camera — параметры камеры и композиции кадра;
- Render — выбор режима визуализации;
- FX — эффекты и дополнительная обработка изображения.

В разделе Render можно выбрать визуализацию в реальном времени в режимах Standard или Lumen (система динамического глобального освещения Unreal Engine [25], учитывающая не только прямой свет, но и свет, отраженный от поверхностей) либо использовать режим трассировки пути Path tracer, в котором освещение рассчитывается по множеству путей света с многократными отражениями, что дает наиболее точный результат. Быстрые режимы подходят для настройки сцены и предварительной оценки результата, тогда как более качественный расчет применяется преимущественно при подготовке итоговых материалов.

Раздел Media используется для создания и хранения изображений, видеороликов, панорам и других форм представления сцены. После подготовки материалов их параметры вывода задаются в разделе Export, где выбираются разрешение, формат, качество и другие характеристики итоговых файлов.

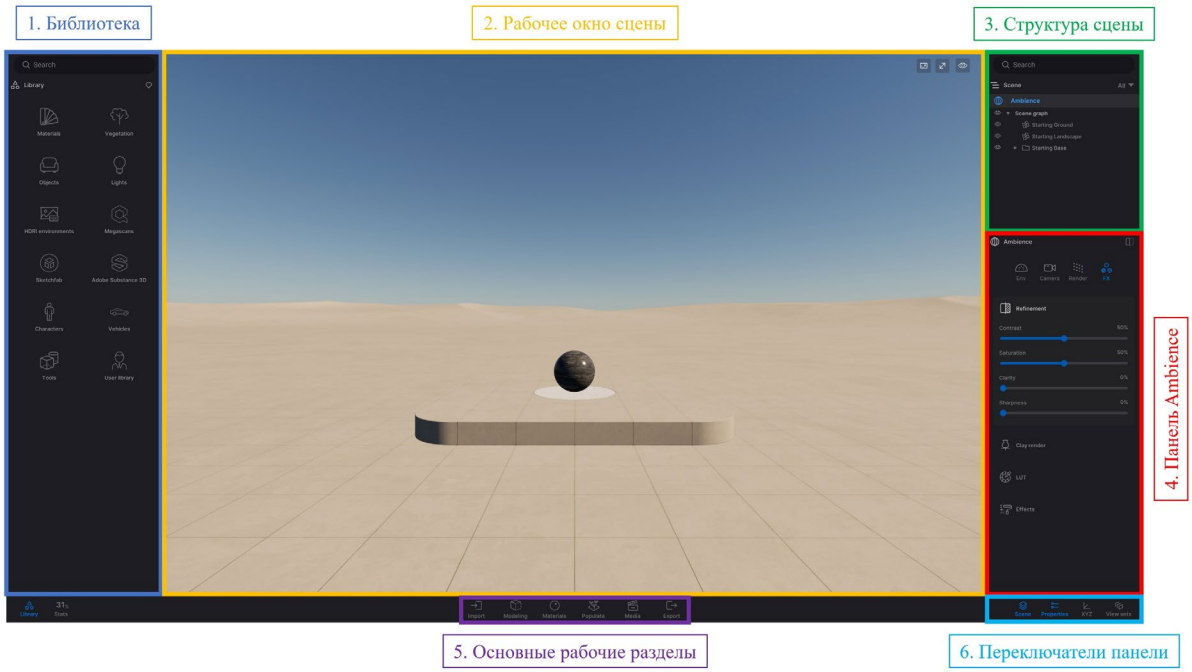


Рис. 4.30. Основные области интерфейса Twinmotion

4.2.4. Настройка сцены

Настройка сцены в Twinmotion начинается после импорта и проверки исходной модели. Ее цель заключается в формировании целостного визуального окружения, позволяющего достоверно и наглядно представить проектное решение.

Сцена может формироваться несколькими способами. В первом случае в Twinmotion импортируется только модель сооружения, а рельеф, дороги, водные поверхности, растительность и другие элементы окружения создаются непосредственно в программе. Такой подход подходит для условной или демонстрационной визуализации, когда подробные исходные данные о территории отсутствуют.

Во втором случае модель сооружения передается вместе с частью окружения, например рельефом, подходами, дорогами, береговыми линиями

или соседней застройкой. В этом случае основная работа в Twinmotion заключается в настройке материалов, дополнении сцены объектами из библиотеки и формировании визуального представления.

Третий вариант предусматривает сборку сцены из нескольких источников. Модель сооружения, рельеф, здания и отдельные объекты окружения могут быть импортированы из разных программ или файлов. Такой подход позволяет объединять данные различных разделов проекта, однако требует проверки масштаба, координат и взаимного положения элементов.

После загрузки исходных данных рекомендуется упорядочить структуру сцены: переименовать основные объекты, объединить связанные элементы в контейнеры и скрыть геометрию, которая не должна отображаться в итоговых материалах. Понятная структура упрощает дальнейшую настройку и редактирование проекта.

Следующим этапом является назначение и корректировка материалов. Материалы должны не только соответствовать предполагаемому внешнему виду поверхностей, но и обеспечивать визуальное разделение основных частей сооружения. Бетон, металл, асфальтобетон, тротуарное покрытие, грунт, вода и растительность должны различаться по цвету, фактуре, отражающей способности и степени шероховатости.

После настройки материалов выполняется формирование окружения. В сцену добавляются рельеф, вода, растительность, транспорт, люди, элементы городской и дорожной инфраструктуры. Количество и степень детализации таких объектов определяются назначением визуализации. Окружение должно помогать воспринимать масштаб и положение сооружения, но не отвлекать внимание от основного объекта.

Освещение, время суток, сезон и погодные условия, а также положение камеры подбираются с учетом формы сооружения и назначения изображения по рекомендациям п. 2.3. Для вечерних и ночных сцен дополнительно настраиваются искусственные источники света.

На завершающем этапе настраиваются режим визуализации, экспозиция, баланс белого, контрастность, резкость, глубина резкости и другие параметры изображения.

Настройка сцены является общей основой как для статической, так и для динамической визуализации. После ее завершения могут выполняться выбор отдельных ракурсов и создание изображений либо разработка траектории движения камеры и подготовка видеоролика.

Алгоритм настройки сцены приведен на рис. 4.31.



Рис. 4.31. Последовательность настройки сцены в Twinmotion

4.2.5. Создание статических изображений

После завершения настройки сцены в Twinmotion могут быть созданы статические изображения проектируемого объекта. Для этого в рабочем окне выбираются положение и направление камеры, высота точки обзора, масштаб изображения и композиция кадра.

Изображения создаются в разделе Media. При добавлении изображения текущее положение камеры сохраняется в виде отдельной миниатюры.

Выбор миниатюры позволяет вернуться к сохраненному ракурсу и изменить относящиеся к нему параметры визуализации.

Для разных изображений одной сцены могут быть заданы собственные настройки камеры, освещения, времени суток, погодных условий, режима рендеринга и визуальных эффектов. Это позволяет подготовить несколько вариантов представления сооружения без создания отдельных файлов проекта.

Ракурсы выбираются с учетом назначения изображения по рекомендациям п. 2.3.

Перед экспортом следует проверить композицию кадра, корректность материалов, отсутствие пересечений и посторонних объектов, читаемость основных конструкций, а также достаточность освещения.

Готовые изображения экспортируются через раздел Export. Для них задаются формат файла, разрешение и другие параметры вывода. Twinmotion поддерживает экспорт изображений в форматах PNG, JPG и EXR, а также позволяет использовать стандартные или пользовательские размеры изображения.

Для промежуточной проверки рекомендуется использовать уменьшенное разрешение, а окончательный экспорт выполнять после утверждения ракурса, материалов, освещения и параметров визуализации.

4.2.6. Создание видеороликов

Динамическая визуализация в Twinmotion выполняется путем создания видеоролика, в котором положение камеры и состояние сцены изменяются во времени. В отличие от статического изображения, видеоролик позволяет последовательно показать сооружение с разных сторон, передать его протяженность, взаимное расположение конструкций и связь с окружающей территорией.

Видео создается в разделе Media и состоит из одного или нескольких фрагментов. Каждый фрагмент представляет собой отдельную последовательность движения камеры, например общий облет сооружения,

движение вдоль пролетного строения, проезд по мосту или приближение к отдельному конструктивному элементу.

Траектория движения камеры формируется с помощью ключевых кадров. Каждый ключевой кадр фиксирует положение и направление камеры в определенный момент времени. Между последовательными ключевыми кадрами Twinmotion автоматически создает плавное перемещение камеры.

При построении траектории необходимо учитывать расстояние между ключевыми кадрами, продолжительность фрагмента и характер изменения направления взгляда. Слишком большое количество кадров может сделать движение неравномерным, а резкие изменения положения камеры — затруднить восприятие объекта. Для большинства сцен предпочтительно использовать плавное движение с ограниченным количеством поворотов и изменений высоты.

Отдельные фрагменты видеоролика могут соединяться обычной склейкой или визуальными переходами. Каждый фрагмент рекомендуется посвящать одной задаче: общему представлению сооружения, показу проезда по мосту, обзору опор, пролетного строения или окружающей территории. Такое разделение упрощает редактирование и позволяет при необходимости изменять порядок сцен.

Для отдельных фрагментов и ключевых кадров могут задаваться различные параметры камеры, освещения, погодных условий и визуального представления. Однако резкие изменения времени суток, экспозиции или характера освещения следует применять только в тех случаях, когда они являются частью сценария ролика.

Помимо движения камеры, в динамической визуализации могут использоваться движущиеся автомобили, пешеходы и другие объекты. Их применение помогает передать масштаб сооружения и характер его эксплуатации, но не должно отвлекать внимание от демонстрируемого проектного решения.

Перед экспортом необходимо выполнить предварительный просмотр видеоролика. На этом этапе проверяются плавность движения камеры, скорость прохождения отдельных участков, продолжительность фрагментов, видимость основных конструкций, корректность материалов и отсутствие пересечений камеры с объектами сцены.

Экспорт выполняется через раздел Export. При выводе видеоролика задаются разрешение, частота кадров, формат файла и качество визуализации. Для промежуточной проверки целесообразно использовать облегченные параметры, а окончательный расчет выполнять после утверждения траектории камеры и всех настроек сцены.

При необходимости динамическая визуализация может применяться для демонстрации вариантов проектного решения или последовательности строительства. Для этого используются различные состояния сцены, в которых отдельные элементы включаются, скрываются или заменяются в заданном порядке.

4.2.7. Пример выполнения статической визуализации

Модель, подготовленную в программе моделирования, предварительно экспортируют в один из поддерживаемых Twinmotion форматов. В рассматриваемом примере использован формат OBJ; при работе в Revit также может применяться Direct Link (см. п. 4.2.2).

В Revit экспорт выполняется из семейства или проекта командой «Файл» → «Экспорт» → «Форматы САПР» → «OBJ». Экспорт в OBJ доступен только из 3D-вида: если команда неактивна, следует перейти в 3D-вид, подготовленный для экспорта (см. п. 3.3.4; рис. 4.32).

Полученный файл импортируется в Twinmotion: на панели рабочих разделов (рис. 4.30, область 5) выбирается «Import» → «Geometry» → «Open», после чего указывается файл модели. Настройки импорта в рассматриваемом примере оставлены по умолчанию; после нажатия «OK» выполняется загрузка модели (рис. 4.33).

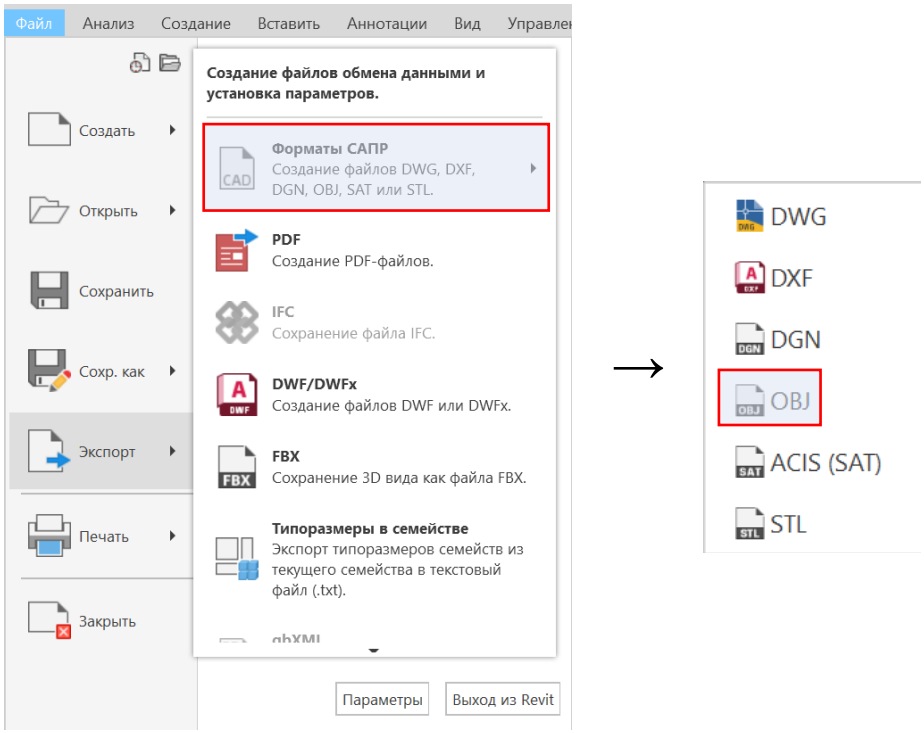


Рис. 4.32. Экспорт модели из Revit в формат OBJ



Рис. 4.33. Модель мостового сооружения, импортированная в Twinmotion

Работа в режиме реального времени с насыщенными сценами, большим количеством импортированных моделей или моделями большого объема создает высокую нагрузку на компьютер. При снижении производительности следует уменьшить качество отображения в окне просмотра; на качество итоговых изображений эта настройка не влияет.

Качество отображения задается в настройках программы (расположение пункта зависит от версии): доступны уровни «Low», «Medium», «High», «Ultra» и «Custom»; уровень «Auto» автоматически изменяет детализацию сцены с учетом загрузки системы.

После импорта модели сцена дополняется элементами городской среды: существующей застройкой, благоустройством, озеленением и дорожной инфраструктурой. Наиболее значимые и узнаваемые здания в зоне проектирования рекомендуется воспроизводить с повышенной точностью, поскольку они во многом определяют восприятие проектируемого объекта в градостроительном контексте.

Как отмечено в п. 4.2.3, библиотека Twinmotion (рис. 4.30, область 1) позволяет использовать объекты из подключенных внешних каталогов, в том числе Sketchfab: «Library» → «Sketchfab» → «Search». В рассматриваемом примере по названию города была найдена модель его центральной части, включающая большинство зданий, расположенных в непосредственной близости от объекта проектирования. Модели сторонних авторов распространяются на условиях различных лицензий, поэтому перед использованием следует проверить условия лицензии и при необходимости указать автора модели в материалах проекта (рис. 4.34).



Рис. 4.34. Сцена, дополненная моделью городской застройки из Sketchfab

Недостающие элементы окружения — колесо обозрения, парковочная разметка, ограждения и освещение набережной — добавлены из внешних библиотек, а растительность, участки ландшафта, водная поверхность, пешеходы, велосипедисты, стоящие и движущиеся автомобили и источники света — из встроенной библиотеки программы (рис. 4.35).

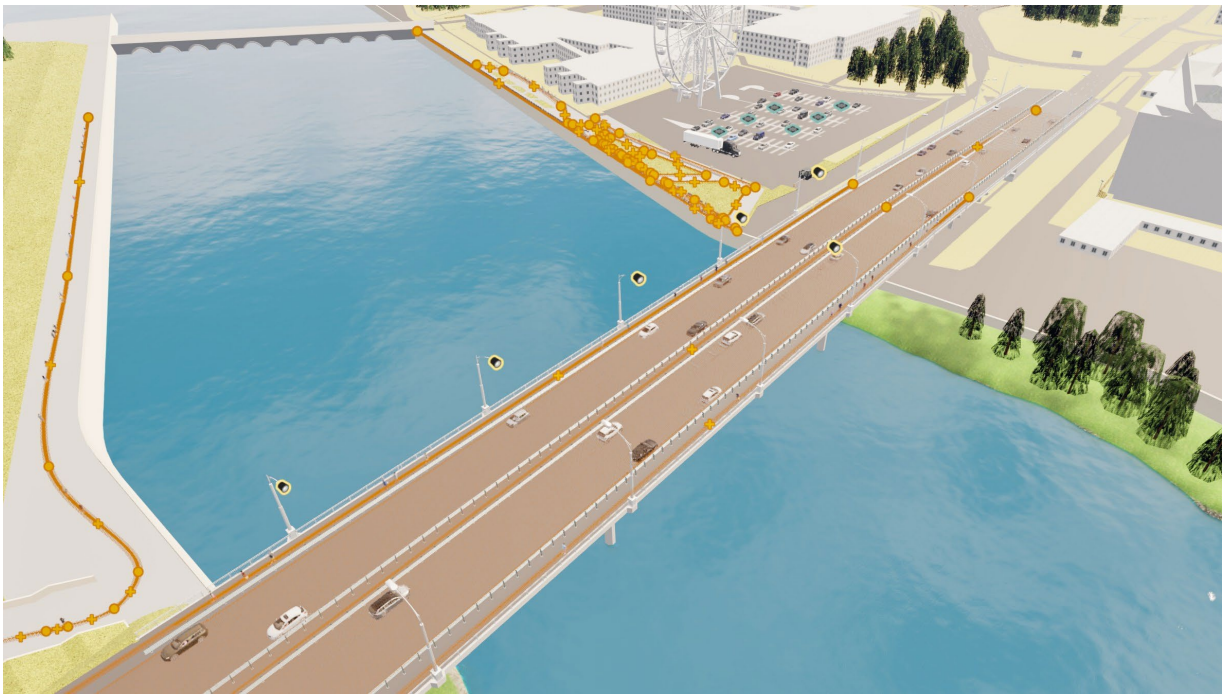


Рис. 4.35. Сцена, наполненная объектами окружения

Движущиеся автомобили, пешеходы и велосипедисты созданы инструментом «Path» в разделе «Paths» вкладки «Populate» (рис. 4.30, область 5). Для пути выбирается тип движущихся объектов («Character», «Bicycle», «Vehicle» или «Custom»), задаются траектория и параметры движения: интенсивность, количество полос, скорость и др. (рис. 4.36).

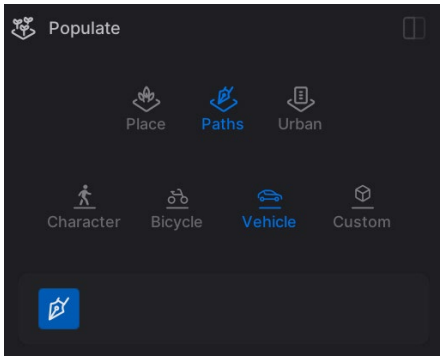


Рис. 4.36. Инструмент «Paths» на вкладке «Populate»

Растительность расставлена инструментом «Place» на той же вкладке. Инструмент предусматривает четыре способа размещения: «Paint», «Scatter», «Spacing» и «Area»; для густой растительности с произвольной расстановкой подходит способ «Paint» (рис. 4.37).

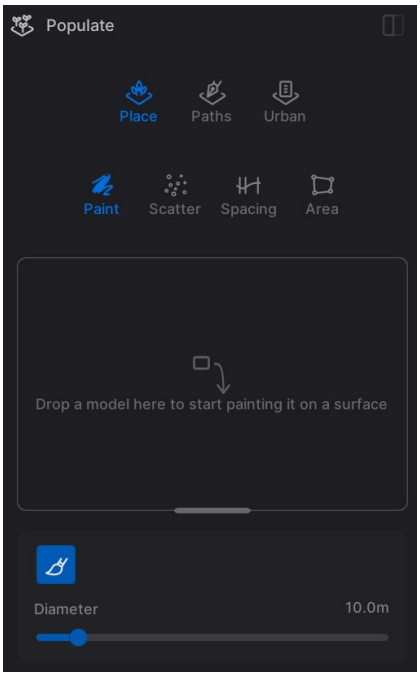


Рис. 4.37. Инструмент «Place» на вкладке «Populate»

После выбора способа размещения ниже появляется область, в которую перетаскиваются расставляемые объекты из библиотеки растительности «Vegetation» или из каталога «Sketchfab». При наведении на поверхность курсор принимает форму сферы, диаметр которой настраивается ползунком.

Для расстановки вдоль линии используется способ «Spacing»: курсором задаются вершины кривой, вдоль которой размещаются экземпляры объекта с настраиваемыми параметрами (количество, шаг, масштаб и др.).

Отдельные элементы окружения добавляются из встроенной или внешних библиотек. Масштаб элемента при необходимости изменяется на панели переключателей (рис. 4.30, область 6), вкладка «XYZ», параметр «Scale».

После формирования сцены настраивается кадр: камера устанавливается в нужную точку и направляется на объект, затем на вкладке «Media» (рис. 4.30, область 5) нажимается кнопка «+», и рядом с ней появляется миниатюра кадра. Для создания следующего кадра кнопка «+» нажимается повторно; чтобы сохранить изменения в существующем кадре, используется кнопка обновления в верхней части его миниатюры.

При необходимости для кадра настраиваются параметры камеры, окружения, рендеринга, погоды и эффектов.

Наиболее важной настройкой является выбор типа обработки изображения. Во вкладке «Render» доступны режимы реального времени и режим трассировки пути: «Real time» (варианты Standard и Lumen) — быстрые режимы с упрощенным расчетом освещения, причем Lumen точнее передает непрямое освещение и отражения; «Path tracer» — наиболее качественный и ресурсоемкий режим, предназначенный для получения фотореалистичных изображений. Последний использует существенно больше ресурсов компьютера, а следовательно, требует значительно большего времени на обработку, особенно с высокодетализированными моделями. При ограниченном количестве времени и ресурсов компьютера стоит отдавать предпочтение типу «Real time».

Изображения экспортируются на вкладке «Export» (рис. 4.30, область 5): в разделе «Image» нажимается кнопка «+», в открывшемся списке отмечаются нужные кадры, выбирается формат файла и запускается экспорт кнопкой «Start export» (рис. 4.38–4.39).



Рис. 4.38. *Пример визуализации в режиме «Real time»*



Рис. 4.39. *Пример визуализации в режиме «Path tracer»*

4.2.8. Пример выполнения динамической визуализации

Для создания видеоролика на вкладке «Media» открывается раздел видео (рис. 4.40).

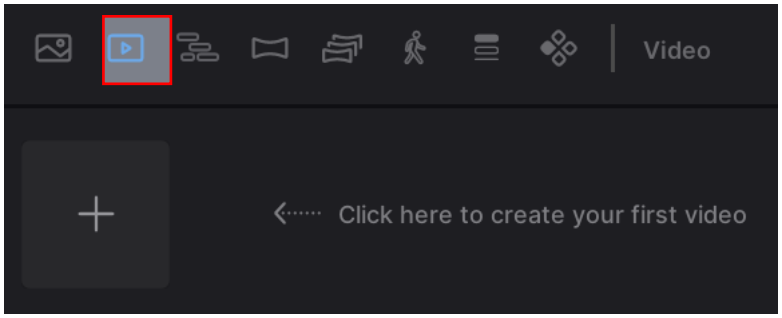


Рис. 4.40. Раздел создания видео на вкладке «Media»

Видео создается кнопкой «+», при этом появляются первый ключевой кадр и первый фрагмент ролика. Ключевой кадр определяет положение и направление камеры, а фрагмент — участок движения между начальной и конечной точками.

Затем камера перемещается в следующую точку и создается новый ключевой кадр; движение между соседними ключевыми кадрами Twinmotion формирует автоматически. Так последовательно задается траектория камеры; в один фрагмент может входить несколько ключевых кадров.

Продолжительность фрагментов настраивается в их верхней части (рис. 4.41).

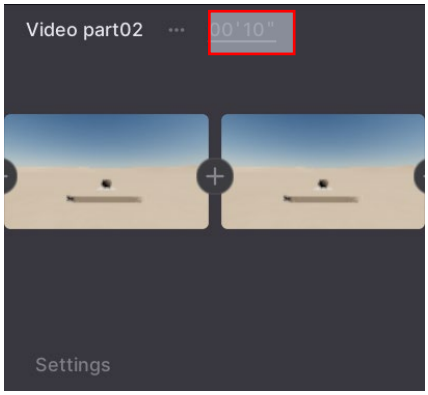
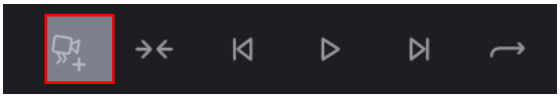
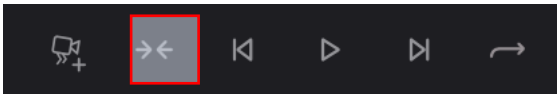


Рис. 4.41. Фрагменты видеоролика и ключевые кадры

Для перехода к другому ракурсу или новой траектории создается новый фрагмент левой кнопкой управления видео.



Эффекты перехода между отдельными фрагментами можно назначить в специальном режиме их редактирования. Включение данного режима осуществляется нажатием на специальную кнопку.



Тип эффекта в начале и конце фрагмента выбирается щелчком по значку ножниц. Для плавного затемнения между фрагментами в конце первого и в начале следующего фрагмента устанавливается тип «Fade to black».

Настройка изображений ключевых кадров выполняется методом, изложенным в п. 4.2.7.

Контрольные вопросы

1. На чем основан принцип работы Twinmotion и чем он отличается от систем предварительного расчета кадра?
2. Какими способами модель передается в Twinmotion? Каковы преимущества Direct Link?
3. Какие параметры импорта влияют на структуру сцены? Как их выбрать для мостового сооружения?
4. Какими способами может формироваться сцена и окружение?
5. Чем различаются режимы Standard, Lumen и Path tracer и когда применяется каждый из них?
6. Как создаются изображения и видеоролики? Что такое ключевой кадр и фрагмент?
7. Что необходимо учитывать при использовании моделей из внешних библиотек?

4.3. Постобработка изображений моделей с применением нейросетей

В настоящее время генеративные нейросети активно развиваются и постепенно становятся одним из доступных инструментов работы с графическими материалами. Современные модели позволяют изменять отдельные элементы изображения, корректировать освещение и цветовой баланс, дополнять окружение, удалять нежелательные объекты, увеличивать разрешение и выполнять другие операции на основании текстового описания.

В рамках визуализации проектных решений нейросетевые инструменты следует рассматривать прежде всего как дополнительный способ обработки графических материалов, а не как замену трехмерному моделированию и специализированным программам визуализации. Основная геометрия проектируемого сооружения должна формироваться в программном обеспечении, позволяющем контролировать размеры, положение и взаимосвязь конструктивных элементов.

4.3.1. Применение нейросетей при работе с изображениями

Нейросетевая обработка может применяться на различных этапах подготовки изображения. Исходным материалом может служить как изображение черновой трехмерной модели непосредственно из программы моделирования, еще не переданной в программу визуализации, так и полностью подготовленный рендер.

В первом случае нейросеть может использоваться для предварительного представления будущей визуализации: формирования окружающей среды, добавления растительности, транспорта, людей, элементов городской застройки, изменения характера освещения и общего визуального восприятия сцены. Такой подход позволяет быстро оценить возможное направление дальнейшей работы, не выполняя предварительно полную настройку сцены в специализированной программе.

При обработке готовой визуализации нейросеть целесообразно использовать для более локальных задач: коррекции освещения и цветового баланса, изменения отдельных элементов окружения, удаления случайных объектов, улучшения детализации или устранения отдельных визуальных недостатков.

Применение нейросетевых инструментов может быть особенно полезно в случаях, когда пользователь не обладает достаточными навыками классической постобработки изображений. Операции, для выполнения которых в графическом редакторе потребовались бы знания цветокоррекции, работы с масками, фильтрами и слоями, в ряде случаев могут быть выполнены посредством текстового запроса.

Другим возможным случаем применения является недостаточная производительность компьютера для выполнения сложной визуализации. Большинство облачных нейросетевых сервисов выполняют вычисления на удаленных серверах, благодаря чему качество обработки значительно меньше зависит от характеристик компьютера пользователя.

4.3.2. Ограничения нейросетевой обработки

Несмотря на простоту использования и доступность современных генеративных моделей, их применение не является универсальным способом подготовки проектной визуализации.

Основным ограничением при работе с архитектурными и инженерными объектами является возможность искажения исходной геометрии. В процессе генерации нейросеть фактически заново интерпретирует отдельные участки изображения и может изменить не только те объекты, которые пользователь указал в запросе. В результате возможно изменение формы пролетного строения, положения опор, шага стоек ограждений, размеров отверстий, элементов фасадов окружающей застройки и других деталей.

Особенно высок риск подобных изменений при значительной переработке исходного изображения. Поэтому после каждой генерации

необходимо сравнивать полученный результат с исходной моделью и отдельно проверять элементы, геометрическая точность которых имеет значение для представления проектного решения.

Вторым существенным ограничением является зависимость результата от качества текстового запроса — промпта. Нейросеть должна однозначно определить, какие элементы изображения требуется изменить, какие необходимо сохранить и каким должен быть итоговый результат. Слишком общее или перегруженное описание увеличивает вероятность нежелательных изменений.

4.3.3. Составление промпта для обработки изображения

При работе с изображениями проектируемых сооружений текстовый запрос рекомендуется строить от наиболее важных ограничений к требуемым изменениям. В первую очередь необходимо указать элементы, которые должны оставаться неизменными, после чего описать необходимую обработку и только затем — желаемый характер изображения.

Например, вместо общей команды *«Сделать изображение более реалистичным»* целесообразно использовать более конкретное описание: *«Сохранить исходную геометрию мостового сооружения, положение камеры, пропорции и расположение всех конструктивных элементов. Сделать освещение более мягким и естественным, скорректировать цветовой баланс и добавить умеренное свечение работающим светильникам. Не изменять геометрию пролетного строения, опор и ограждений»*.

При составлении промпта рекомендуется придерживаться следующих правил:

- указывать элементы, которые необходимо сохранить;
- описывать конкретные изменения;
- не объединять большое количество сложных преобразований в одну генерацию;

– ограничивать область редактирования, если используемый инструмент позволяет выделять отдельный участок изображения;
– избегать противоречивых требований к стилю, освещению или окружению;
– проверять результат после каждой итерации, уделяя отдельное внимание геометрии проектируемого объекта.

4.3.4. Существующие инструменты для обработки изображений

Для выполнения подобных задач могут применяться различные генеративные модели и сервисы. При этом их возможности и характер результата существенно различаются. Обзор приведен по состоянию на 2026 г.; состав сервисов и их возможности быстро меняются. Основные инструменты приведены в табл. 4.1.

Часть перечисленных сервисов официально недоступна или ограничена для пользователей из России. Из отечественных решений для генерации и редактирования изображений могут применяться Kandinsky (Сбер, в том числе через GigaChat) и YandexART (в том числе в приложении «Шедеврум»); Kandinsky поддерживает также генерацию видео.

Выбор конкретной нейросети зависит от задачи. Для небольших локальных изменений готового рендера предпочтительны инструменты с возможностью точного выделения области. Для предварительного поиска визуального решения могут использоваться более свободные генеративные модели. Независимо от выбранного инструмента итоговое изображение необходимо проверять на соответствие исходной проектной модели.

Таблица 4.1

Нейросетевые инструменты для обработки изображений

Инструмент	Основные возможности	Особенности применения
ChatGPT Images	Загрузка существующего изображения и внесение в него изменений посредством текстового описания; редактирование изображения целиком или работа с выделенной областью	Удобен при последовательной доработке визуализации: требования можно уточнять в диалоге и корректировать результат несколькими итерациями. Граница выделения не является абсолютно жесткой, и изменение иногда может затрагивать соседние участки изображения
Google Nano Banana	Семейство моделей Gemini для генерации и редактирования изображений: работа с исходными изображениями, последовательные изменения, использование нескольких референсов; доступны как более быстрые модели, так и версии с повышенной точностью	Полезна возможность задавать исходное изображение и последовательно уточнять его, стараясь сохранить основные особенности первоначальной сцены. Сохранение инженерной геометрии проверяется после каждой обработки
Adobe Firefly	Генеративное заполнение, удаление объектов, изменение изображения по текстовому описанию и увеличение разрешения	Возможность достаточно точно задавать область редактирования и интеграция с другими программами Adobe. Для локальной постобработки готового рендера зачастую удобнее полной генерации изображения заново
Midjourney	Создание изображений с нуля и редактирование загруженных: изменение отдельных областей, расширение границ изображения, работа с масками, повторная генерация выбранных участков	Сильная сторона — выразительность изображения и работа с общей атмосферой сцены. Применять следует осторожно: художественная переработка может сопровождаться заметным изменением исходной геометрии
Stable Diffusion	Самостоятельный выбор моделей, использование масок и средств контроля исходной композиции, формирование сложных последовательностей обработки (например, в ComfyUI)	Высокая гибкость настройки и широкие возможности контроля; требует больше предварительных знаний и времени на настройку, чем облачные сервисы с готовым интерфейсом

4.3.5. Применение нейросетей при работе с видеоматериалами

Генеративные нейросети могут использоваться не только для статических изображений, но и для обработки или создания видеоматериалов.

Одним из вариантов является преобразование готового изображения в короткий видеоролик — image-to-video. В этом случае нейросеть получает исходный кадр и формирует движение камеры, объектов или элементов окружающей среды. Например, можно добавить движение транспорта, людей, воды или растительности.

Другим вариантом является нейросетевая обработка уже существующего видеоролика, экспортированного из Twinmotion или другой программы визуализации. Такой подход является более предпочтительным для представления проектного решения, поскольку траектория камеры и положение сооружения формируются непосредственно в трехмерной сцене, а нейросеть используется только для дополнительной визуальной обработки.

Главной особенностью работы с видео является необходимость сохранения временной согласованности кадров. Нейросеть должна воспроизводить один и тот же объект одинаково на протяжении всей последовательности. При недостаточной стабильности модели может возникать эффект изменения геометрии между соседними кадрами: элементы начинают менять форму, появляться, исчезать или перемещаться. Для мостовых сооружений особенно заметны такие изменения на ограждениях, ребрах, светильниках, элементах пролетного строения и окружающей архитектуре.

В связи с этим длинные видеоролики целесообразно разделять на несколько коротких фрагментов и обрабатывать их отдельно.

4.3.6. Промпты для обработки видео

В случае применения технологии image-to-video нет необходимости заново подробно описывать все объекты, уже присутствующие в исходном

изображении. Основное содержание промпта должно быть посвящено движению.

Рекомендуется отдельно описывать движение камеры, движение объектов и изменение элементов окружающей среды. Например: *«Сохранить исходную геометрию мостового сооружения и окружающей застройки. Камера медленно и плавно перемещается вперед вдоль продольной оси моста. Автомобили равномерно движутся по проезжей части. Наблюдается незначительное естественное движение листвы. Не изменять форму опор, пролетного строения и ограждений»*.

Для проектной визуализации рекомендуется отдавать предпочтение простым и плавным перемещениям камеры. Чем сложнее одновременно заданное движение камеры, объектов и окружающей среды, тем выше вероятность появления артефактов.

При обработке существующего видеоролика желательно минимизировать изменения самого проектируемого объекта и использовать нейросеть преимущественно для работы с атмосферой, освещением, окружением и второстепенными элементами.

4.3.7. Существующие инструменты для обработки видеороликов

Основные инструменты для генерации и обработки видео приведены в табл. 4.2. При выборе нейросети для обработки видео основным критерием в случае инженерной визуализации должно являться не максимальное количество визуальных эффектов, а стабильность воспроизведения исходной сцены и сохранение геометрии проектируемого объекта.

4.3.8. Общие рекомендации

Нейросетевая обработка наиболее безопасно применяется к тем составляющим визуализации, которые не определяют непосредственно проектное решение: освещению, небу, атмосферным эффектам, растительности, фону, отдельным элементам окружения и общей цветовой характеристике изображения.

Таблица 4.2

Нейросетевые инструменты для обработки видео

Инструмент	Основные возможности	Особенности применения
Runway	Генерация видео по тексту и изображению, преобразование существующих видеоматериалов	Подходит для создания коротких сцен, анимации статических изображений и дополнительной обработки готового видео; для стабильного результата сложные сцены нередко требуют нескольких итераций
Google Veo	Генерация видеоматериалов с управлением характером движения камеры; использование изображений в качестве исходных кадров; формирование достаточно сложных последовательностей	Может применяться для создания презентационных фрагментов, однако точность воспроизведения проектной геометрии требует дополнительной проверки
Kling AI	Генерация видео по изображению и текстовому запросу, инструменты управления движением	Анимация готовой визуализации и формирование относительно реалистичного движения камеры и элементов сцены
Adobe Firefly	Генерация и редактирование видеоматериалов	Интеграция с другими продуктами Adobe упрощает дальнейший монтаж и постобработку
Luma	Создание видео на основании текстового описания и исходных изображений, работа с ключевыми кадрами	Формирование коротких презентационных сцен и переходов между заданными изображениями

Чем ближе редактируемый объект связан с проектируемой конструкцией, тем меньше должна быть степень генеративного вмешательства.

При этом необходимо учитывать принципиальное отличие генеративного изображения от традиционного рендера: визуальная правдоподобность результата не гарантирует его соответствия исходной модели. Нейросеть способна создать изображение, выглядящее реалистично, но содержащее конструктивные или геометрические изменения.

Поэтому применение нейросетевых инструментов при подготовке материалов инженерного проекта должно сопровождаться обязательным сравнением результата с исходной трехмерной моделью. В таком случае нейросеть может рассматриваться как эффективное средство ускорения

постобработки и повышения наглядности визуализации без подмены самого проектного решения.

Применение нейросетевых инструментов при подготовке иллюстраций учебного проекта и ВКР допустимо, однако факт их использования должен быть обязательно указан [14]: в подписи к изображению или в пояснительной записке приводятся название инструмента и характер выполненной обработки (например, «коррекция освещения выполнена с применением YandexART»). Изображения, в которых нейросеть изменила проектируемую конструкцию, не допускается представлять как результат проектирования. Применение таких инструментов рекомендуется заранее согласовать с руководителем.

Контрольные вопросы

1. На каких этапах подготовки изображения может применяться нейросетевая обработка?
2. В чем основное ограничение нейросетей при работе с инженерными объектами?
3. По какому принципу составляется промпт для обработки изображения проектируемого сооружения?
4. Что такое временная согласованность и почему она важна при обработке видео?
5. Какие составляющие визуализации наиболее безопасно обрабатывать нейросетями?
6. Как проверять и оформлять результаты нейросетевой обработки в учебном проекте?

5. Материал для практической работы

Объект практической работы — мостовое сооружение, рассмотренное в пособии (см. п. 3.1): сталежелезобетонный мост по схеме 42,0+63,0+42,0 м с неразрезным пролетным строением переменной высоты из четырех коробчатых балок, стоечными промежуточными опорами и массивными устоями, а также эстакадный участок из сборных железобетонных балок длиной 21,0 м.

Исходные файлы (чертежи, модели SketchUp и Revit, текстуры) размещены в облачной папке:

https://disk.yandex.ru/d/Ij0ssgsLOqxXJQ.



Типовые задания (вариант — фрагмент сооружения, ракурсы, время суток — выдает преподаватель):

1. SketchUp: построить модель промежуточной опоры и пролетного строения эстакадного участка (LOD 200, см. табл. 1.1), организовать иерархию групп и компонентов, назначить материалы. Результат: файл SKP, снимок иерархии.
2. Revit: создать параметрическое семейство диафрагмы коробчатой балки переменной высоты и разместить его экземпляры в сборочном семействе пролетного строения. Результат: файлы RFA и RVT.
3. V-Ray: выполнить визуализацию модели из задания 1 — общий вид и вид с уровня глаз, день и ночь. Результат: 4 изображения PNG не менее 1920 × 1080 пикс.
4. Twinmotion: сформировать сцену с окружением и подготовить видеоролик 30–60 с (облет сооружения и проезд по мосту). Результат: файл MP4, 1920 × 1080, 30 кадр/с.
5. Нейросети: обработать одно изображение из задания 3 и сравнить с исходным рендером, указав инструмент, промпт и выявленные изменения геометрии. Результат: пара изображений «до/после».

Список использованных источников

Нормативные документы

1. СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла : утв. приказом Минстроя России от 31.12.2020 № 928/пр. — URL: https://base.garant.ru/400536125/ (дата обращения: 24.10.2026).
2. СП 333.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла (утратил силу).
3. СП 328.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели : утв. приказом Минстроя России от 31.12.2020 № 927/пр. — URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/pravila/0/sp_328_1325800_2020_svod_pravil_informatsionnoe.html (дата обращения: 24.10.2026).
4. СП 331.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах : утв. приказом Минстроя России от 18.09.2017 № 1230/пр. — URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/pravila/1/sp_331_1325800_2017_svod_pravil_informatsionnoe.html (дата обращения: 24.10.2026).
5. ГОСТ Р 10.0.02-2019/ИСО 16739-1:2018. Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. Отраслевые базовые классы (IFC) для обмена и управления данными об объектах строительства. Часть 1. Схема данных. — URL: https://cn.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=6453898 (дата обращения: 24.10.2026).
6. ГОСТ Р 57563-2017/ISO/TS 12911:2012. Моделирование информационное в строительстве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений.
7. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles. — URL: https://www.iso.org/standard/68078.html (дата обращения: 24.10.2026).
8. ISO 7817-1:2024. Building information modelling — Level of information need — Part 1: Concepts and principles. — URL: https://www.iso.org/standard/82914.html (дата обращения: 24.10.2026).
9. EN 17412-1:2020. Building Information Modelling — Level of Information Need — Part 1: Concepts and principles. — URL: https://www.evs.ee/en/evs-en-17412-1-2020 (дата обращения: 24.10.2026).
10. ISO 16739-1:2024. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema. — URL: https://www.iso.org/standard/84123.html (дата обращения: 24.10.2026).
11. PAS 1192-2:2013. Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling (отменен, заменен серией ISO 19650).
12. BIMForum. Level of Development (LOD) Specification 2025. — URL: https://bimforum.org/LOD/ (дата обращения: 24.10.2026).

13. U.S. Institute of Building Documentation (USIBD). Level of Accuracy (LOA) Specification. Version 3.1. — 2025. — URL: https://usibd.org/ (дата обращения: 24.10.2026).
14. Кодекс этики в сфере искусственного интеллекта. — М. : Альянс в сфере искусственного интеллекта, 2021.

Техническая документация

15. Справочный центр SketchUp. — URL: https://help.sketchup.com/ru-ru (дата обращения: 24.10.2026).
16. V-Ray for SketchUp : раздел Справочного центра SketchUp. — URL: https://help.sketchup.com/en/vray-sketchup (дата обращения: 24.10.2026).
17. Autodesk Revit Help. — URL: https://help.autodesk.com/view/RVT/2025/ENU/ (дата обращения: 24.10.2026).
18. Epic Games. Twinmotion Documentation. — URL: https://dev.epicgames.com/documentation/twinmotion (дата обращения: 24.10.2026).
19. midas CIM Beta Global Release / MIDAS IT. — URL: https://www.midasbridge.com/en/blog/newstrends/midascimofficialglobalrelease (дата обращения: 27.10.2026).
20. SOFiSTiK. Bridge + Infrastructure Modeler : documentation. — URL: https://docs.sofistik.com/2025/en/bridge_modeler/introduction.html (дата обращения: 24.10.2026).
21. ALLPLAN. Allplan Bridge. — URL: https://www.allplan.com/us_en/products/allplan-bridge (дата обращения: 24.10.2026).
22. Renga — система информационного моделирования. — URL: https://rengabim.com/ (дата обращения: 24.10.2026).
23. CREDO : программные продукты компании «Кредо-Диалог». — URL: https://credo-dialogue.ru/ (дата обращения: 24.10.2026).
24. SketchUp Help. Components. — URL: https://help.sketchup.com/en/sketchup/components (дата обращения: 24.10.2026).
25. Unreal Engine Documentation. Lumen Global Illumination and Reflections. — URL: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/lumen-global-illumination-and-reflections-in-unreal-engine (дата обращения: 24.10.2026).

Рекомендуемая литература

Основная

1. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. — М. : ДМК Пресс, 2011.
2. Талапов В.В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. — М. : ДМК Пресс, 2015.
3. Sacks R., Eastman C., Lee G., Teicholz P. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. — 3rd ed. — Hoboken : Wiley, 2018. — ISBN 978-1-119-28753-7.
4. Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice / ed. by A. Borrmann, M. König, C. Koch, J. Beetz. — Cham : Springer, 2018. — URL: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-92862-3 (дата обращения: 24.10.2026).

Дополнительная

5. Pharr M., Jakob W., Humphreys G. Physically Based Rendering: From Theory to Implementation. — 4th ed. — Cambridge (MA) : MIT Press, 2023. — URL: https://pbrt.org/ (дата обращения: 24.10.2026).
6. Akenine-Möller T., Haines E., Hoffman N. Real-Time Rendering. — 4th ed. — Boca Raton : CRC Press, 2018.
7. Rombach R., Blattmann A., Lorenz D., Esser P., Ommer B. High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). — 2022. — URL: https://arxiv.org/abs/2112.10752 (дата обращения: 24.10.2026).

При подготовке пособия использовалась языковая модель искусственного интеллекта Claude Opus 5.5 (Anthropic) для следующих задач: форматирование, проверка текста, стилистическая правка, составление блок-схем и таблиц на основе данных, предоставленных авторами, а также сервис генерации изображений ChatGPT (OpenAI) для создания изображения на обложке пособия. Результаты работы с инструментами проверены и при необходимости доработаны авторами. Смысловая часть пособия — содержание, технические решения, примеры и выводы — разработана авторами, которые несут полную ответственность за содержание издания.