# <u>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И.</u> АРХИТЕКТУРА

# К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ И СПОСОБАХ ПОДАЧИ ТРЕХМЕРНЫХ НАУЧНЫХ РЕКОНСТРУКЦИЙ

УДК 72.017.9:004.9 ББК 85.11:32.81

# Д.А. Карелин, М.А. Карелина

Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия

#### Аннотация

Статья посвящена методам визуализации и презентации 3D-реконструкций памятников архитектуры. Теоретические основы, на которых базируется данная работа, были заложены Борисом Раушенбахом в его исследованиях, посвященных зрительному восприятию в искусстве. Результатом работы является выделение двух принципиально разных с точки зрения восприятия типов изображений и критериев их оценки, кажущихся авторам важными при визуализации 3D-реконструкций памятников архитектуры. 1

**Ключевые слова:** памятники архитектуры, 3D-реконструкции, 3D-визуализация, угол обзора, точка обзора, перспектива, проекционная поверхность, Раушенбах

# REFLECTION ON THE METHODS AND WAYS OF SCIENTIFIC 3D-RECONSTRUCTIONS PRESENTATION

#### D.A. Karelin, M.A. Karelina

Moscow Institute of Architecture (State Academy), Moscow, Russia

#### Abstract

The article is devoted to methods and approaches of the visualization and presentation of 3D-reconstructions of architectural monuments. Its characteristics versus the aims of the reconstruction are the object of this study. Main theoretical basis of this topic created by Boris Rauschenbach in his research works devoted to visual perception in art. The results of the research is the selection of two different on principle types of visualization images and several criteria for each type.<sup>2</sup>

**Keywords:** architectural monuments, 3D reconstruction, 3D visualization, viewing angle, viewpoint, perspective, plane of projection, Raushenbach

Статья<sup>3</sup> посвящена рассмотрению методов презентации трехмерных научных реконструкций памятников архитектуры в зависимости от поставленных целей и

AMIT 2(43) 2018

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> **Для цитирования:** Карелин Д.А. К вопросу о методах и способах подачи трехмерных научных реконструкций / Д.А. Карелин, М.А. Карелина // Architecture and Modern Information Technologies. – 2018. – №2(43). – С. 372-393 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://marhi.ru/AMIT/2018/2kvart18/25 karelin/index.php

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> For citation: Karelin D.A., Karelina M.A. Reflection on the Methods and Ways of Scientific 3D-Reconstructions Presentation. Architecture and Modern Information Technologies, 2018, no. 2(43), pp. 372-393. Available at: <a href="http://marhi.ru/eng/AMIT/2018/2kvart18/25">http://marhi.ru/eng/AMIT/2018/2kvart18/25</a> karelin/index.php

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Отдельные положения данной работы были частично представлены в докладе на 20-ой конференции по архитектурному наследию и новым технологиям («Conference on Cultural Heritage and New Technologies») 2-4 ноября в Вене (Австрия) и опубликованы в сборнике ее материалов [7], на научной конференции в МАРХИ в 2016 году [18], в готовящейся к выходу статье [6], а также на выставке, прошедшей в МАРХИ в апреле-сентябре 2017 года [22]. В работе [7] рассмотрены критерии применения ортогональных/аксонометрических изображений или

особенностей памятника. При создании научных 3D-реконструкций крайне важны два момента. Первый — это методы их создания, второй — способы и приемы их визуализации. Стоить отметить, что первая тема очень обширна и имеет множество аспектов: от методики сбора и систематизации данных до методологии создания самой реконструкции<sup>4</sup>. Вторая тема гораздо уже, однако тоже имеет немало направлений. Это и технические аспекты создания 3D-моделей, и алгоритмы создания рендера, и вопрос о том, когда уместнее использовать фотореалистичную, а когда стилизованную (схематичную) презентацию объекта и многое другое. Может показаться, что основными в данном направлении являются технические аспекты создания визуализаций. Однако это не так, ведь не вызывает сомнения, что презентация научных трехмерных реконструкций должна учитывать особенности восприятия человеческого зрения, что влияет на множество характеристик создаваемых изображений. Они, в свою очередь, напрямую зависят от целей и задач, для которых выполняется реконструкция. Можно выделить две основные цели:

- Показать архитектурные черты памятника (планировочную структуру, архитектурные и конструктивные особенности, объемно-планировочное решение и стадии строительства). В этой ситуации требуется изобразить «общий» вид реконструируемого здания как для профессионалов (археологов, архитекторов, историков и т.д.), так и для неискушенного зрителя. Лучшим способом является создание аксонометрических или условных перспективных видов. Как правило, такие виды обычно менее реалистичны и более схематичны;
- Показать определенные видовые точки, которые имеют особое значение, или раскрыть отдельные архитектурные аспекты сооружения. Кроме того, целью может быть желание воспроизвести то впечатление, которое сооружение могло оказывать на зрителя. Такие изображения ориентированы, прежде всего, на неспециалистов, и их можно назвать «частными». Лучший метод в данном случае использование реалистичных перспективных видов с реальных точек зрения. При их создании нужно обращать внимание на ряд важных моментов: выбор точки зрения, угол зрения, характер и направление освещения, композицию в целом и так далее. Стоит отметить, что в этих случаях кажется уместным применять критерии, которые мы привыкли использовать для произведений искусства [7, р.10], что будет рассмотрено далее. Вероятно, такие виды предпочтительнее выполнять с фотореалистичным освещением, учитывающим реальное положение солнца.

В предлагаемой статье поставлена цель сфокусироваться на особенностях подачи визуальной информации в случае использования статических видов. Перед тем, как перейти к рассматриваемому вопросу, необходимо обозначить ряд положений, на которые мы будем опираться в дальнейшем и ещё раз перечислить основные термины.

Научная реконструкция — это реконструкция несохранившегося или частично сохранившегося памятника, выполненная на основании тщательного научного анализа сохранившихся источников после их классификации. В рамках этой статьи актуально рассмотрение лишь реконструкций, выполненных с использованием компьютерных технологий.

Аппарат проецирования – геометрическая система, позволяющая строить перспективные изображения<sup>5</sup>. Её основными элементами являются точка зрения, плоскость проекций, на которой строится изображение, и сам объект. В случае, когда для проецирования используется не плоскость, а поверхность, например изогнутая,

перспективных видов с реальных точек зрения и ряд других аспектов, во [6] подробнее изучены аспекты применения реальных перспективных видов с точки зрения человеческого восприятия. Данная статья объединяет и дополняет результаты упомянутых публикаций.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Краткое изложение основных проблем и научных направлений можно найти в [20, 21].

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Подробнее, см., например: 24, с. 223; 23, с. 201, 27, с. 311.

происходит дальнейшее перепроецирование полученного изображения на плоскость, или разворачивание изогнутой поверхности.

Перспективные искажения — значительное несоответствие изображения предметов зрительному восприятию на периферии изображения, получаемого путем построения перспективы на плоскости при достаточно широком угле зрения. Можно выделить несколько способов подачи научной реконструкции: изображение на бумаге (в книге, статье), изображение на мониторе компьютера или смартфона, видеоряд на сайте или в статье, опубликованной в сети Интернет, в шлемах виртуальной реальности и с помощью других подобных технологий.

В представленной работе рассматриваются лишь статичные изображения на плоскости (первые два пункта), так как, с одной стороны, шлемы виртуальной реальности и похожие технологии пока не имеют значительного применения при подаче информации о научных реконструкциях. Сегодня это, прежде всего, публикации в научной и популярной литературе и на сайтах. С другой стороны, столь широкая и сложная тема должна быть предметом отдельного исследования.

При использовании шлемов виртуальной реальности несовпадение осей зрения проецирования, используемого наблюдателя аппарате пап построении перспективного изображения, должно быть исключено, так как цель подобных устройств именно в создании эмуляции реального зрения. Вполне вероятно, что использование устройств, создающих иллюзию виртуальной реальности, ставит ряд иных проблем, связанных с восприятием человека. Однако получается, что при использовании шлемов виртуальной реальности для человеческого мозга не возникает необходимости воспринимать информацию об изображении, построенном по правилам линейной перспективы на плоскости. Восприятие изображения, спроецированного на плоскость, имеет свои особенности, которые будут рассмотрены ниже. Учитывая, что на сегодняшний день основной способ подачи информации в научных реконструкциях - это изображение на плоскости, стоит уделить данной проблеме особое внимание. Необходимо отметить, что всё перечисленное выше важно, прежде всего, для понимания восприятия с человеческих точек зрения. Но может иметь значение для видов, названных нами «общими».

#### Общие виды

Основным свойством *общих видов* является то, что они дают представление о реконструированном памятнике в целом, условно говоря, одним или несколькими видами можно проиллюстрировать основные его особенности: планировку, объемно-пространственную структуру, конструктивные особенности и так далее. В случае необходимости представляется возможным использовать пространственные разрезы, чтобы показать, например, внутреннюю структуру здания и её взаимоотношение с экстерьером. Используя более сложные виды, например, аксонометрический вид с пространственным разрезом, можно показать внутреннюю структуру сложного сооружения<sup>7</sup>, например – ворот с подъемной решеткой, бойницами, сложной каменной кладкой. На рисунках (рис. 1,2) можно увидеть, иллюстрирующие вышесказанный подход,

<sup>6</sup> Подробнее о классификации изображений см.: [27, с. 14].

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> В истории эволюции изображений можно выделить момент, когда человеку стало понятно, что одним видом нельзя показать все необходимые черты изображаемого объекта [27, с. 14], что привело к появлению отдельных проекций. Потом появились более сложные изображения, например, аксонометрии, совмещаемые с пространственным разрезом, возможна и трансформация изображаемого объекта, вычленения из него определенных частей, что делается для достижения большей наглядности. Подробнее о "структурной" и "функциональной" наглядности изображений см.: [27, с. 58-63, 75].

южные ворота крепости Вавилон (Каир)<sup>8</sup> и восточные ворота крепости Наг эль-Хагар (Ком Омбо)<sup>9</sup>.

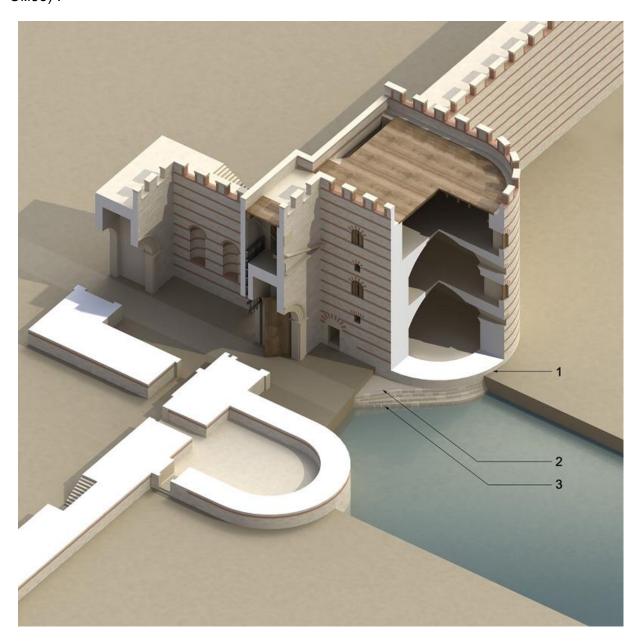


Рис. 1. Южные ворота крепости Вавилон в Египте (1 - Уровень земли при Диоклетиане, 2 - Уровень земли при Траяне, 3 - Уровень воды при Траяне) (реконструкция Д. Карелина и М. Карелиной)

Использование перспективы и аксонометрии с разрезами в реконструкции [15, рис. 5, 6; 5, fig. 3, 5; 16, рис. 17, 19] храма культа римского императора в Луксоре (рис. 3,4) позволяет показать связь между интерьером (балдахин, апсида и фрески с фигурами четырех соправителей—тетрархов как в апсиде, так и над ней — на стене) и внешней частью (гипостильным залом Аменхетепа III с установленными там при Диоклетиане статуями тетрархов). Четыре скульптуры снаружи были явно связаны с изображениями внутри и являлись продолжением интерьера как в композиционном, так и в тематическом смыслах. Оба изображения показывают связь между четырьмя статуями во дворе, статуями между колоннами и фигурами в апсиде и на стене, которая имела сакральное значение [16].

AMIT 2(43) 2018

375

-

<sup>8</sup> Подробнее о крепости см: [11].

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Подробнее о реконструкции см: [14, с. 11-12, Рис. 8].



Рис. 2. Восточные ворота крепости Наг эль-Хагар в Египте (реконструкция Д.А. Карелина)



Рис. 3. Продольный разрез храма культа римского императора в Луксоре (реконструкция Д.А. Карелина)



Рис. 4. Аксонометрия храма культа римского императора в Луксоре (реконструкция Д.А. Карелина)

Сложный аксонометрический разрез мавзолея Тор де Скьяви [19] позволяет показать пространственную структуру интерьера здания (рис. 5), состоящую из конструктивно взаимосвязанных подвала с цилиндрическим кольцевым сводом и перекрытого куполом расположенного выше основного помещения мавзолея.

В нашем представлении такие виды могут быть как реалистичными, так и схематичными, а также стилизованными<sup>10</sup>. Более того, например, в случае с мавзолеем Тор де Скьяви вполне уместно использовать наиболее удобное направление света, чтобы подчеркнуть форму и архитектурные особенности памятника вне зависимости от реальной траектории движения Солнца относительно него. Для этих целей возможно как использование геометрической перспективы, так и аксонометрии, или даже ортогональных видов.

Мы привыкли считать перспективу определенным эволюционным шагом в истории искусств по сравнению со способами построения изображений до её появления. Считается, что окончательно линейная перспектива утвердилась в эпоху Ренессанса. Однако, линейная перспектива появилась намного раньше, о чем красноречиво свидетельствует так называемый Второй стиль древнеримской живописи. Более того, в ортогональных видах предметы, расположенные параллельно плоскости проецирования, а так же их размеры и пропорциональные соотношения могут быть переданы максимально точно. С одной стороны, аксонометрия хоть и имеет заметные искажения, но не имеет тех, которые характерны для перспективы, а частный случай аксонометрии – изометрия – точно передает соотношение длин отрезков линий, если они параллельны осям.

1

<sup>10</sup> Дискуссия о возможности и уместности использования фото-реалистичных или не реалистичных визуализаций см: [13, р. 48-49].



Рис. 5. Аксонометрический разрез мавзолея Тор де Скьяви (реконструкция Д.А. Карелина, Ю.Г. Клименко, К.Н. Биляна и Д.А. Алексеевой)

Исследования Б. Раушенбаха [25, 26] показали, что древнеегипетское искусство с его «неправильной» геометрией, использованием при изображении людей, профиля для головы, вида спереди для тела, и профиля для ног на самом деле представляло очень сложную систему с точки зрения использования разных проекций и обоснования этого. Основной особенностью древнеегипетского искусства было желание показывать любой предмет, или его часть в ортогональной проекции, с ракурса, который, с точки зрения египтян, наиболее характерно передавал особенности изображаемого предмета. Более того, оно позволяло объединять в одном изображении несколько проекций и видов. Отсюда и сложность изображения человеческого тела, и использование совмещенных плана и фасада при изображении архитектуры и так далее.

В этом ключе ортогональные и аксонометрические виды кажутся наиболее уместными для изображений, названных нами «общими», так как они точнее, чем перспектива, передают пропорциональные соотношения.

#### Частные виды

Рассматриваемые далее частные виды представляют собой дополнение к общим, так как предполагают раскрытие характера здания с определенной точки зрения, выбор которой не случаен, в то время как для общих видов, прежде всего, важно передать информацию о реконструированном памятнике в целом. Из этого следует, что обе выделенных нами разновидности видов создаются по разным законам и требуют различных критериев.

Практически для любого памятника возможно показывать виды с точек зрения реального наблюдателя, так как многие произведения архитектуры изначально были задуманы для восприятия именно с определенных точек зрения. Множество древних памятников архитектуры и образцов современного зодчества могут это подтвердить. При создании

подобных видов необходимо учитывать особенности зрительного восприятия: угол зрения, характерный для восприятия человека, правила геометрической перспективы, особенности человеческого зрения и композицию изображения, которая может подчеркивать, что важнее, а что менее важно. Далее будут подробнее рассмотрены указанные аспекты. В нашем исследовании мы опираемся, прежде всего, на работы Б. Раушенбаха и некоторые западные исследования.

# Исследования Бориса Раушенбаха

Существенный вклад в исследование этой проблематики внес русский ученый Борис Раушенбах. В одной из своих первых работ он подробно рассмотрел вопросы восприятия человеческого зрения в связи с правилами построения перспективы [26] 11. В этой работе было составлено дифференциальное уравнение работы мозга человека при зрительном восприятии и приведены все математические расчеты. В более позднем исследовании Б. Раушенбах рассмотрел эту проблему в ключе критериев оценки произведений искусства, исключив из последней работы уже опубликованную ранее математическую часть [25]. Также он показал большое значение аксонометрии, доказал, что древнее и средневековое искусство, казалось бы, не знавшее перспективы, не было, как это считается, примитивным, и дал математическое обоснование обратной перспективы. Вся часть нашей работы, связанная с восприятием человеческого зрения, основывается на его исследованиях.

К сожалению, мы не знакомы с европейскими и американскими исследованиями о зрительном восприятии также хорошо, как с теориями Б. Раушенбаха. Нам неизвестны работы других исследователей, рассматривавших эту проблему с той же точки зрения. Однако в Европе и США было проведено огромное количество исследований о зрительном восприятии пространства<sup>12</sup>. Прежде всего, интерес представляют работы Дж. Дж. Гибсона [1, 2, 3, 4], ставшего одним из апологетов теории визуального восприятия в англоязычной науке и создавшего новый экологический подход к визуальному восприятию. Этот автор подробно исследовал проблему связи движения и зрительного восприятия, разрабатывая в качестве психолога, специализирующегося на зрительном восприятии, подходы к тренировкам пилотов в ВВС США во время Второй Мировой войны. Вероятно, поэтому в его трудах основное внимание уделено тому, каким требованиям должна отвечать поверхность земли. Он отметил, что разработанность и детализированность поверхности земли повышает точность восприятия [1]. Если в перспективной картине появляются узнаваемые элементы: детали, характер текстур, объекты, это может способствовать более точному определению расстояния между предметами и их масштаба.

Также необходимо отметить диссертацию Дж. Поллак, в которой подробно рассмотрены геометрические системы построения перспективы на цилиндрическую и сферическую поверхности проекции как с точки зрения их геометрической основы, так и с точки зрения изучения особенностей их восприятия<sup>13</sup>. На основании тестов и опросов автор пришла к выводу, что перспектива на цилиндрической проекционной поверхности более естественна с точки зрения человеческого восприятия, чем на плоскости или сферической поверхности [8, р.132-135].

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Также об особенностях восприятия изображений на плоскости см: [27, с. 56-58].

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> См., например, обобщающую статью [10].

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> Однако стоит отметить, что высказывание автора о том, что она создала математическую модель построения перспективы на "cylindrical and spherical surfaces of projection" выглядит очень странно [8, р.132], так как модель построения перспективы на любую поверхность содержится во многих учебниках по начертательной геометрии [24, с. 300-312; 23, с. 203-205; 27, 348], при этом первое издание учебника Ю.И. Короева вышло в 1987 году, а А.Г. Климухина в 1973, а первый панорамный фотоаппарат, в котором этот принцип работает физически, был запатентован в 1843 году Йозефом Пухбергером.

Краеугольным камнем рассматриваемого в статье вопроса является тот факт, что человеческий мозг преобразует полученное на сетчатке глаза изображение так, что человек воспринимает по-разному то, что он видит с данной точки зрения и математически правильную перспективу, перенесенную на плоскость и сделанную именно с той же точки зрения. Все дальнейшее изложение будет посвящено тому, как при подаче научной реконструкции на плоскости с использованием видов с реальных точек зрения достичь максимального «приближения» к человеческому восприятию.

Долгое время созданная ренессансными художниками перспектива считалась эталоном, однако в XX веке появилось сомнение в том, что ренессансная перспектива учитывает работу мозга, который значительно преобразует изображение после его попадания на сетчатку [25, C.8]. Многие художники инстинктивно отходили от её правил, пытаясь создавать изображения, соответствующие человеческому восприятию. В соответствии с теорией Раушенбаха [25, c.15-17, рис. 1] получение изображения в мозгу можно описать следующим образом:

- Существует сам объект или пространство (A);
- В человеческом глазу изображение проецируется на сетчатку (C), которое близко к изображению, полученному по правилам геометрической перспективы (E);
- На основании данной информации мозг строит в голове изображение (В), благодаря которому художник может нарисовать картину (D). Если он талантлив и/или понимает законы восприятия человеческого зрения, то при взгляде на изображение (D) у другого человека появится образ, близкий к реальности (A).

При создании изображений научных реконструкций с реальных точек зрения необходимо создавать изображение, максимально близкое к формируемому мозгом, однако, как доказывает Раушенбах [25, с. 22-28, 34], методами геометрической перспективы достичь этого в принципе невозможно, так как при устранении определенных «ошибок» и искажений, появляются другие. В своей работе Б. Раушенбах приводит несколько вариантов научных перспективных построений и три основных вида «ошибок»:

Он выделяет шесть основных видов перспективы [26, с. 53, рис. 8-9] (рис. 6), зависящих от расстояния от сцены до точки зрения ( $L_0$ ) и его отношения к глубине сцены (L) и поверхности, на основании которой строится перспектива:

- Ренессансная перспектива (A),  $L_0$ =L, отличается корректной передачей подобия (формы и характера предмета, то есть при определенных условиях квадрат выглядит как квадрат);
- Линейная перспектива (B),  $L_0$ =2L, при определенных условиях правдоподобно передает подобие и глубину пространства;
- Линейная перспектива (C), L $_0$ =4L в зависимости от формы объекта и его деталей может правдоподобно передавать масштаб (отношения между предметами переднего, среднего и дальнего планов), но существуют проблемы с передачей глубины пространства;
- Вариант (D) предполагающий, что сетчатка глаза не плоскость, а имеет дугообразную цилиндрическую форму, и её ось вращения горизонтальна. Для получения финального изображения на плоскости точки или перепроецируются с изогнутой поверхности проецирования на плоскость, или изогнутая поверхность может быть развернута. Такой вариант позволяет немного раскрыть пол и потолок, что позволяет лучше их передать, но искажает подобия и масштаб у вертикальных элементов;
- Вариант (Е), предполагающий, что сетчатка глаза не плоскость, а также имеет дугообразную цилиндрическую форму, и её ось вращения вертикальна (панорамный вид, используемый в панорамных фотоаппаратах). В данном случае перепроецирование осуществляется также, как и в предыдущем. Такой вариант немного раскрывает боковые

\_

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Стоит отметить, что под термином "ошибка" Раушенбах понимает не буквально ошибку, а расхождение между геометрической перспективой и изображением, создаваемым человеческим мозгом [25, с. 48].

стороны, но искажает подобия и масштаб у горизонтальных элементов. Стоит отметить, что для визуально корректной передачи пола и потолка или стен интерьера нужны их раскрытия, противоречащие друг другу, то есть налезающие друг на друга или не совпадающие друг с другом, что приводит к невозможности совмещении их в одном изображении (рис. 7);

 Вариант (F), совмещающий два предыдущих варианта. В этом случае сохраняется ошибка передачи подобий.

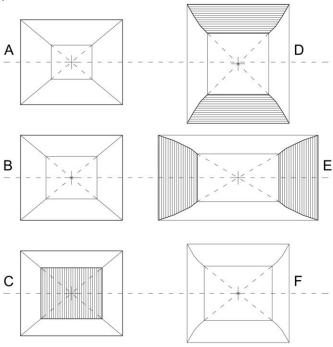


Рис. 6. Основные виды интерьерной перспективы. Неискаженно переданные плоскости показаны штриховкой (по [26, рис. 9] в авторской интерпретации)

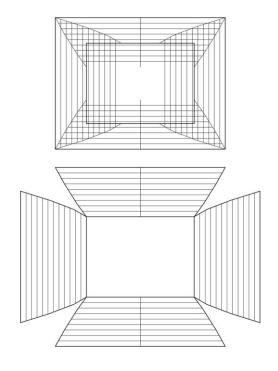


Рис. 7. Неискаженная передача пола, потолка и стен интерьера (по [26, рис. 8] в авторской интерпретации)

Все варианты помогают избежать одних «ошибок», но в то же время приводят к другим. Все «ошибки» можно разделить на три основных типа [26, с. 36-44]:

- «Ошибка передачи глубины» [26, С.49] появляется, как правило, при использовании слишком узкого или широкого угла зрения, когда изображение кажется либо плоским, либо слишком глубоким;
- «Ошибка передачи масштабов» [25, С.50] появляется, как правило, из-за разницы масштабов между передним, средним и дальними планами, к ней приводит использование слишком узкого или слишком широкого углов зрения. Тут стоит отметить, что восприятию человеческого зрения свойственно увеличивать отдаленные предметы и уменьшать находящиеся близко [25, С.17];
- «Ошибка передачи подобий» [25, С.52] возникает из-за заметных перспективных искажений в краях изображения при углах шире 30°. Природа этой «ошибки» кроется в «механизме константности формы», по которому мозг приближает изображение предмета к идеальному представлению, игнорируя при восприятии все искажения [25, с. 22, 31]<sup>15</sup>.

#### Методы и правила для видов с реальных точек зрения

Посмотрев на один и тот же архитектурный объект, показанный при разных углах (рис. 8), мы увидим, что при  $100^\circ$  изображение кажется слишком глубоким, разница в масштабах планов совсем не естественна, элементы в краях изображения (капители колонн) содержат ошибки передачи подобий. При угле в 60° указанные выше ошибки нивелируются и изображение становится более естественным, но искажения в краях все еще заметны, и все еще можно говорить об ощибке передачи масштабов. Угол в 30°. наверное, дает наиболее естественное изображение в данном конкретном случае, в то время как угол в 15° дает ошибку передачи глубины (разница в масштабах планов кажется недостаточной) и, вероятно, приводит к ошибке передачи масштабов – передний и задний планы слишком мало отличаются от среднего. На основании похожих построений Б. Раушенбах пришел к выводу, что наиболее естественные углы зрения находятся в диапазоне между 40° и 20°. Наиболее важный вывод, который можно сделать из вышесказанного, – необходимо выбирать такой вариант, при котором ошибки минимально влияют на точность восприятия наиболее важных и характерных черт и элементов объекта. Например, Поль Сезанн стал одним из первых, кто искусственно растягивал (как бы смотрел с точки зрения, находящейся выше) объекты ближнего и средних планов на пейзажах [Rauschenbach 1982; 26, с. 77-85; 25, с. 61-73]. Это допустимо и в реконструкциях. Например, если мы имеем дело с реконструкцией здания с напольными мозаиками, вполне допустимо или использовать алгоритм построения перспективы на изогнутую поверхность для раскрытия пола, или искусственно немного поднять выше уровня глаз точку зрения человека<sup>16</sup>. Если мы имеем дело с протяженным объектом, то, вероятно, правильно использовать панорамный вид или искусственно отодвинуть точку зрения.

Подробнее разбирая те способы, которые позволяли бы при подаче результатов научных реконструкций учитывать особенности обработки зрительной информации человеческим мозгом, нужно понять один важный момент. Если художник может достаточно легко позволить себе нарушить законы перспективы на холсте, то при работе с компьютерной моделью это намного сложнее, так как изображение строится на основании математического алгоритма, заложенного в программу и построенного на базе линейной перспективы. Можно обозначить только два основных пути: использовать особенности линейной перспективы с учетом указанных факторов или искать алгоритмы, позволяющие вносить корректировки в создаваемые изображения.

AMIT 2(43) 2018

382

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> Это красноречиво показывает пример с табуреткой [25, с. 22].

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> Вполне вероятно в такой ситуации дать «общий» аксонометрический вид сверху, который специалистам расскажет больше, чем перспективное изображение с реальной точки зрения.

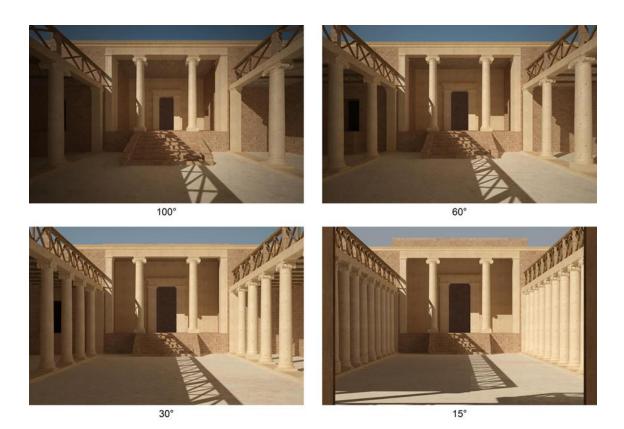


Рис. 8. Разница восприятия при разных углах зрения (100°, 60°, 30°, 15°). Перспективный вид *Via Praetoria* в крепости в Дионисиасе. Реконструкция Д.А. Карелина, Т.И. Житпелевой, М.А. Карелиной

Выделим несколько основных принципов, представляющихся актуальными:

- не использовать без крайней необходимости угол зрения вне диапазона 60-20°, что позволит избежать критических «ошибок» передачи масштабов, глубины и подобий;
- не использовать третью точку схода, кроме тех случаев, когда наблюдатель смотрит скорее вверх, чем вперед, так как при отсутствии ярко выраженной третьей точки схода мозг её всегда игнорирует. Это возможно сделать как в 3D-программах, так и в растровых редакторах;
- при необходимости можно искусственно заужать угол зрения (условно отдаляя точку зрения) или искажать ракурс;
- необходимо учитывать рекомендацию Дж.Дж. Гибсона о разработке контекста, а именно поверхности земли. Она не должна быть слишком контрастной и отвлекающей, но при этом достаточно проработанной, чтобы служить адекватным фоном для объекта. Более того, можно пойти дальше и предложить также разрабатывать другие плоскости, проработка которых может дать информацию о расстоянии и помочь с передачей глубины пространства. Например, на рис. 9 такую роль играют две боковые колоннады. Также надо учитывать, что как текстура земли, так и текстуры и характер других объектов окружения могут и должны давать представление о масштабе [10, р.133], а использование ошибочных текстур и объектов будут искажать масштаб изображения;
- не стоит допускать изобразительные композиционные ошибки, например, связанные с «оптическим контактом» [10, р.137], когда предметы, не касающиеся друг друга в реальности, касаются друг друга контурами, что приводит к иллюзии будто они касаются друг друга;
- при необходимости вполне вероятно использование алгоритмов построения перспективы, в которых изображение строится не на плоскости, а на цилиндрической, сферической, а так же иных поверхностях.

Немало примеров применения указанных принципов можно найти в искусстве [25, с.56], так как при передаче интерьера, если точка зрения по обстоятельствам оказывается внутри помещения, угол зрения выходит слишком широким, перспективные искажения получаются сильными и возникает ошибка передачи глубины пространства. Мы уже приводили пример, наглядно показывающий, что подобный прием вполне допустим в реконструкциях [7, р.6, fig.6]. Приведенный пример (рис. 9) наглядно показывает, что, если угол слишком широк, восприятие искажается, и вполне возможно сделать восприятие более естественным заузив угол зрения и проигнорировав некоторые объекты сцены, попадающие в поле зрения перед картиной, которую необходимо показать. Например, на виде с реальной точки зрения (рис. 9а,b) искажения на краях изображения слишком велики, что приводит к неверному восприятию предметов на краях изображения. Когда мы передвигаем точку зрения дальше и исключаем из визуализации стену, то создаем вид, который хоть и построен не с фактической точки зрения (рис. 9с,d), но более естественен для восприятия.

Важно, что наше зрение воспринимает окружение не только с точки зрения идеального геометрического построения. Мы можем поворачивать голову, а потом наш мозг корректирует поступающие сигналы и объединяет всю полученную глазом информацию в одно изображение, которое ближе ко второй перспективе, полученной с более дальней точки зрения, чем к первой, геометрически верной именно для этой точки зрения. В случае использования фактической точки зрения (в дверном проеме), кроме ошибки передачи подобий (капители в углах изображения), искажается и визуальная глубина пространства и соотношение масштабов, ворота на дальнем плане становятся визуально очень маленькими, теряют свое архитектурное значение. Изображение становится неестественным.

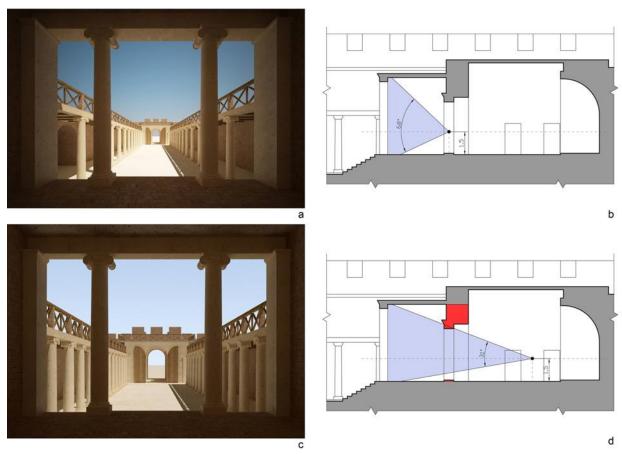


Рис. 9. Иллюстрация возможности заужения угла зрения, отдаления точки зрения и исключения из визуализации сцены ненужных объектов для получения изображения, более естественного с точки зрения восприятия. Перспективный вид *Via Praetoria* в крепости в Дионисиасе. Реконструкция Д.А. Карелина, Т.И. Житпелевой, М.А. Карелиной

Принцип построения перспективы не на плоскости, а на цилиндрической, сферической, а так же иных поверхностях требует отдельного рассмотрения. В случае трёхмерных реконструкций, выполняемых методами компьютерного моделирования, камеры в современных 3D-редакторах, как правило, обладают всеми свойствами физических фотокамер позволяя правильно регулировать угол зрения и фокусное расстояние. Это позволяет строить физически корректное изображение. Также есть возможность построения геометрической перспективы не только на плоскости, но и на других поверхностях, например поверхностях вращения <sup>17</sup>. Как уже упоминалось, в случае, когда из требуемого положения наблюдателя невозможно обеспечить необходимые границы видимости при адекватном угле зрения (рис. 9), простейшим методом корректировки является продвижение камеры назад до точки, откуда может быть обеспечен адекватный угол зрения, и применение так называемой «плоскости отсечения» («clipping plan» в V-Ray) – условной плоскости, настраиваемой для конкретной камеры. Объекты, расположенные ближе неё будут игнорироваться камерой при расчётах. Коррекция третьей точки схода является крайне востребованной при визуализации архитектуры, поэтому существуют как автоматические, так и ручные инструменты («camera correction modifier» и «camera vertical shift» в V-Ray).

Среди физических камер V-Ray [12] также присутствуют такие, проецирование в которых происходит не на плоскость, а на поверхность вращения 18. Как правило, эти камеры используются для создания панорам, но могут применятся и для построения вариантов перспективы (рис. 10). Это так называемая «сферическая» камера (рис. 10b,e), в которой выходящие из центра лучи проецируются на сферическую поверхность. Полученное изображение может служить примером варианта перспективы «Цилиндрическая» камера (рис. 10c,f) строит изображение благодаря проекции на цилиндрическую поверхность с вертикальной осью в точке зрения, что позволяется создать перспективу варианта Е (рис. 6Е). Кроме того, V-Ray предоставляет возможность построения перспективы рыбьего глаза с углом зрения в 180°, однако стоит отметить, что данный вид перспективы совсем не естественен и оправдан лишь в тех случаях, когда угол зрения в 180° необходим. Можно сделать следующие выводы:

- Предложенные нами выше соображения об отдалении точки зрения при слишком широком угле зрения кажутся уместными.
- Сферическая камера искажает (уменьшает) вертикальные размеры, как на это указывает Борис Раушенбах (рис. 6) и кажется наименее естественной.
- Изображения, полученные цилиндрической камерой, кажутся более естественными. Несмотря на наличие ошибки подобия, когда линии, являющиеся в жизни прямыми, на иллюстрации кривые, выглядят не менее естественно, чем прямая перспектива. Выводы Дж. Поллак [8, р.132-135], что подобная перспектива естественней, чем две другие, вполне обоснованы, хотя всегда можно подвергнуть этот тезис сомнению относительно перспективы с проекцией на плоскость из-за упомянутой выше ошибки подобия.

Приведенные на рис. 10 примеры позволяют уверенно рекомендовать использование камеры с цилиндрической поверхностью проекции для визуализации реконструкций памятников архитектуры в случаях, когда необходимо раскрыть боковые грани интерьера, а геометрические искажения не критичны для восприятия, то есть получить более информативные изображения.

При создании перспективных изображений с реальных точек зрения нужно относиться с осторожностью не только к выбору самой точки и углу зрения, но и к ряду других факторов, например, отсутствию третьей точки схода, борьбе с перспективными

AMIT 2(43) 2018

385

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> Теоретически возможно и интересно использование других поверхностей, например эллиптической [8, р. 132-134].

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> Так как алгоритмы указанного программного обеспечения закрыты для нас, мы не обладаем информацией как происходит перепроецирование с изогнутой поверхности на плоскость на завершающем этапе построения изображения.

искажениями и ошибкам соотношения масштабов переднего, среднего и заднего планов и даже выбору самой системы построения перспективы в целом. Об этом достаточно точно сказал сам Б. Раушенбах [25, с.60]: «Возможно, приведенные иллюстрации привлекут внимание и архитекторов, которые предпочитают строить изображения «по всем правилам». Теперь у них появляется возможность выбрать такой вариант системы перспективы, который позволит подчеркнуть то, что они считают главным».

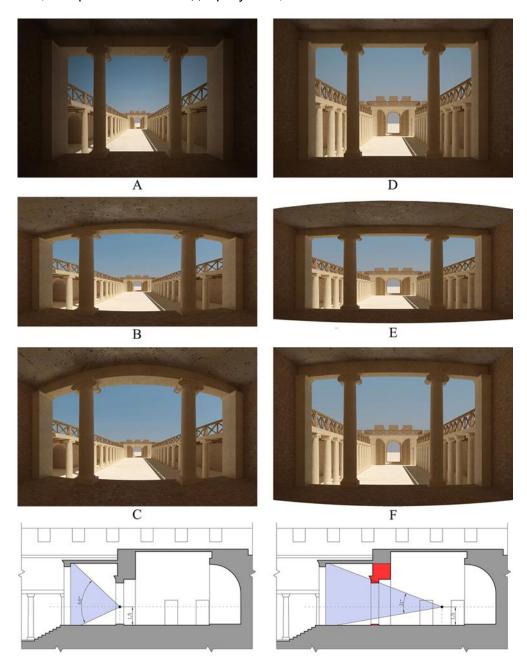


Рис. 10. Перспективы с использованием разных поверхностей проекции: плоскость (a,d), сферическая (b,e) и цилиндрическая (c,f) с реальной точки зрения (a,b,c, см. рис. 9b) и смещенной вдаль от портала (d, e, f, см. рис. 9d). Перспективный вид *Via Praetoria* в крепости в Дионисиасе. Реконструкция Д.А. Карелина, Т.И. Житпелевой, М.А. Карелиной Также стоит отметить важность для «частных видов» передачи характерного естественного или искусственного освещения и использование антуража, не отвлекающее от основного содержания изображения - реконструируемого памятника<sup>19</sup>.

AMIT 2(43) 2018

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup> См. подробнее, [7, р. 6-9].

#### Заключение

Рассмотренные выше факты позволяет сделать следующие выводы:

- Принятое нами условное деление изображений, являющихся по сути результатами визуализации, на «общие» и «частные» позволяет в дальнейшем систематизировать принципиально разные критерии изобразительности для каждого типа (табл. 1);
- При создании и тех и других нужно учитывать множество аспектов. Если первые могут требовать аналитической проработки или методов визуализации, которые в итоге позволяют понять в целом характер здания, то во втором случае очень важно понимание особенностей зрительного восприятия и характера освещения.

Таблица 1. Сравнение особенностей «общих» и «частных» видов

Критерии / вид изображения	общие	частные
Наиболее уместный способ построения изображения	Общая перспектива или (предпочтительнее) ортогональная проекция (включая аксонометрию)	Перспективный вид с реальной точки зрения с углом зрения в диапазоне 20-60°
Методы визуализации	Реалистичный, схематичный или стилизованный	Реалистичная
Освещение	Максимально выявляющее форму, может не быть реальным как по характеру, так и по положению источника света	Реалистичное как по характеру, так и по положению источника света
Наиболее важные для изображения аспекты	Передача максимального количества информации в одной проекции	Учет особенностей человеческого восприятия

В настоящий момент авторы смогли сформулировать некоторые общие рекомендации. В случае с «общими видами» это возможность использования ортогональных и аксонометрических видов и сложных разрезов. Говоря о «частных видах» можно рекомендовать использовать оптимальный угол зрения, возможность смещения точки зрения с её фактического положения и так далее. К сожалению, вряд ли возможно дать точные рекомендации, которые будут работать во всех возможных случаях и содержать точные цифры. Однако изложенные в статье рекомендации крайне важны и их игнорирование при создании научных реконструкций в состоянии обесценить получаемый результат. Наверное, оптимальный путь – всесторонне учитывать особенности объекта и привлекать для консультаций к созданиям реконструкций специалистов в области графической подачи и проектирования пространства, архитекторов и дизайнеров, а не 3D-моделированию<sup>20</sup>. Б. Раушенбах достаточно только специалистов по сформулировал эту проблему: «Эстетика вторглась в казалось бы математическую область с неожиданной стороны. Она определяет выбор подходящего варианта перспективных построений. Именно эстетические соображения помогают отобрать из бесчисленного множества предлагаемых математикой вариантов тот, который является наиболее подходящим для решаемой художественной задачи.

\_

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> Стоит отметить, что эта проблема имеет более широкое и банальное выражение, чем отсутствие представлений об особенностях восприятия пространства человеческим зрением. Например, в реконструкциях памятников архитектуры технические специалисты часто не обращают внимание на поведение текстур в местах сшивки или изменения формы модели. Однако специалист по архитектуре сразу бы заметил, например, что каменная или кирпичная кладка физически так существовать не может.

Неудивительно, что в поисках наилучшего способа передачи пространственности художники могут оказать предпочтение различным вариантам» [25, C.54]. К этому можно добавить, что эстетические требования базируются, прежде всего, на понимании принципов работы человеческого мозга, поэтому они как минимум обоснованы, но учитывая, что наука по прежнему не может ответить на все вопросы, связанные с человеческим мозгом, ясно, что в этой области нет точных и однозначных рецептов. что исследование Б. Раушенбаха Более того. известно. опирается «экспериментальные данные психологов для некоторого «среднего» человека» [25, С.9]. Однако все люди разные, а специалисты, для которых прежде всего и делаются научные трехмерные реконструкции – архитекторы, историки и археологи, – как правило, обременены некоторыми профессиональными деформациями в области восприятия пространства, а точнее они натренированы читать пространство, чертежи или изображения не поддаваясь на «искажения», создаваемые перспективой, и описанные выше «ошибки».

Все вышесказанное указывает на то, что проблема учета восприятия человеком пространства при подаче научных реконструкций крайне сложна и не решена окончательно (и никогда, видимо, не будет). Требуется дальнейшее её изучение с привлечением когнитивных наук и искусствоведческой теории композиции.

Любой рассмотренный выше аспект создания изображений для иллюстрации результатов научной реконструкции, например, угол зрения, антураж, некоторые детали, композиция, выбор точки зрения и так далее может иметь большое значение. Если создатель реконструкции забудет об этом, изображения могут стать менее информативными. Это значит, что критерии, применяемые для профессиональной фотографии архитектуры и изобразительного искусства, могут быть использованы И ДЛЯ реконструкций. С одной стороны, желание использовать эти критерии для реконструкций может привести к излишней художественности. Визуализации реконструкций не должны становится просто «красивыми картинками», так как это противоречит основной цели любой реконструкции – созданию её как можно более точной и аутентичной. С другой стороны, если использовать критерии аккуратно, они, наоборот, могут помочь в достижении данной цели. Более того, во всех хороших примерах искусства и фотографии использование рассмотренных выше приемов только помогает выразить основную идею. В современных исследованиях, посвященных реконструкциям памятников, основная идея состоит в том, чтобы аутентично показать черты произведения архитектуры (детали, материалы, планировку и так далее) и попытаться выразить впечатление, которое памятник мог оказывать на зрителя, используя реалистичное освещение, приемлемый для более точного восприятия угол зрения. Не менее важно, что мы понимаем, какие визуальные приемы могут помочь нам в достижении этих целей.

**Благодарности.** Статья подготовлена в рамках поддержанного РФФИ научного проекта № 15-04-00349 «От макета до виртуальной модели. Научные реконструкции в Истории архитектуры с учетом новейших технологий (на примере «классических» памятников архитектуры)». Авторы очень благодарны Юлию Николаевичу Орсе за огромное количество ценных замечаний и рекомендаций.

#### Литература

- 1. Gibson J.J. The perception of the visual world. Boston: Houghton Mifflin, 1950.
- Gibson J.J. The perception of visual surfaces // American Journal of Psychology. -Champaign, 1950. - № 63. - P. 367–384.
- 3. Gibson J.J. The senses considered as perceptual systems. Boston: Houghton Mifflin, 1966.

- 4. Gibson J.J. The ecological approach to visual perception. Boston: Houghton Mifflin, 1979.
- Karelin D. A. Reflection on Some Architectural Peculiarities of the Late Roman *Principia* in Egypt by the Example of Luxor // Vagalinski L., Sharankov N. (eds.). Limes XXII. Proceedings of the 22nd International Congress of Roman Frontier Studies, Ruse, Bulgaria.
  Sofia: National Archaeological Institute with Museum, 2015. - P. 359-368.
- 6. Karelin D.A., Karelina M.A. Methods of reconstructions' presentation and the peculiarities of human perception // Kuroczyński P. (ed.) The Virtue of Models. Heidelberg: Heidelberg University Publishing, 2017 (forthcoming).
- Karelin D.A. Klimenko Yu.G., Klimenko S.V. The methods and approaches to the visualisation of 3D reconstructions // Proceedings of the 20th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies 2015 (CHNT 20, 2015). Vienna, 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <a href="http://www.chnt.at/wp-content/uploads/eBook CHNT20 Karelin et al 2015.pdf">http://www.chnt.at/wp-content/uploads/eBook CHNT20 Karelin et al 2015.pdf</a>
- 8. Polack J.A. Perception of Images Using non Planar Perspective (PhD diss.). Tampa: University of South Florida, 1997.
- 9. Rauschenbach B.V. Perceptual Perspective and Cézanne's Landscapes // Leonardo. Oakland, 1982. 15, No. 1, 28. P. 28–33.
- 10. Sedgwick H.A. Visual space perception // Goldstein E. B. (Ed.) Blackwell handbook of perception. Oxford: Blackwell Publishers, 2001. P. 128-167.
- 11. Sheehan P. Babylon of Egypt: the Archaeology of Old Cairo and the Origins of the City. Cairo: The American University in Cairo Press, 2010.
- 12. V-Ray for 3ds Max Manual. Camera Examples [Электронный ресурс]. Режим доступа: <a href="https://www.vray.com/vray">https://www.vray.com/vray</a> for 3ds max/manual/vray for 3ds max camera examples.sht ml
- 13. Wittur J. Computer-Generated 3D-Visualisations in Archaeology: Between Added Value and Deception. BAR International Series 2463. Oxford: Archaeopress, 2013.
- 14. Карелин Д.А. Визуализация позднеримской крепости. Гипотетическая компьютерная реконструкция крепости Наг эль-Хагар в Египте // Architecture and Modern Information Technologies. 2011. № 2 (15) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <a href="http://www.marhi.ru/AMIT/2011/2kvart11/karelin/abstract.php">http://www.marhi.ru/AMIT/2011/2kvart11/karelin/abstract.php</a>
- 15. Карелин Д.А. Визуализация позднеримской крепости 2. Компьютерная реконструкция храма культа римского императора в позднеримской крепости в Луксоре (Египет) // Architecture and Modern Information Technologies. 2014. № 1 (26). [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.marhi.ru/AMIT/2014/1kvart14/karelin/abstract.php
- 16. Карелин Д.А. Трехмерная компьютерная реконструкции храма культа римского императора в позднеримской крепости в Луксоре // Современный архитектор и классическая традиция: материалы круглого стола, прошедшего 8 апреля 2015 года в рамках международной конференции «Наука, образование и экспериментальное проектирование» (6–10 апреля 2015 года) в Московском архитектурном институте / Московский архитектурный институт (государственная академия); под ред. Д.О. Швидковского, Ю.Е. Ревзиной и Д.А. Карелина. Москва: МАРХИ, 2016. С. 49-82.

- 17. Карелин Д. А. Житпелева Т.И., Карелина М.А. Некоторые проблемы и особенности создания 3D реконструкций поздних римских крепостей в Египте // Architecture and Modern Information Technologies. -2015. № 3 (32) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <a href="https://www.marhi.ru/AMIT/2015/3kvart15/karelin/abstract.php">https://www.marhi.ru/AMIT/2015/3kvart15/karelin/abstract.php</a>
- 18. Карелин Д.А., Клименко С.В., Ю.Г. Клименко. К вопросу о методах и подходах к подаче 3D-реконструкций // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ: Тезисы докладов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. Т. 2. М.: МАРХИ, 2016. С. 239-240.
- 19. Карелин Д. А., Клименко Ю.Г., Билян К.Н., Алексеева Д.А. Реконструкция архитектурных особенностей интерьера мавзолеев Тор де Скьяви и Максенция в Риме // Architecture and modern information technologies. 2017. № 2 (39). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <a href="http://www.marhi.ru/AMIT/2017/2kvart17/02">http://www.marhi.ru/AMIT/2017/2kvart17/02</a> klimenko-karelin/index.php
- 20. Клименко С.В., Клименко Ю.Г., Карелин Д. А. О подмене понятий при создании научных реконструкций в историко-архитектурных исследованиях (опасная тенденция последних десятилетий) // Architecture and Modern Information Technologies. 2015. Специальный выпуск (декабрь). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.marhi.ru/AMIT/2015/special/klimenko/abstract.php
- 21. Клименко С.В., Клименко Ю.Г., Карелин Д. А. Создание трехмерных научных реконструкций памятников архитектуры: опыт исторических исследований в Московском архитектурном институте // Актуальные проблемы теории и истории искусства: сборник научных статей / Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Санкт-Петербургский государственный университет, Музеи Московского Кремля. Санкт-Петербург: НП-Принт, 2016. Вып. 6. С. 765-775.
- 22. Клименко С.В., Карелин Д.А., Клименко Ю.Г., Карелина М.А. Виртуальная экскурсия в архитектуру прошлого: выставка, посвященная результатам работы по проекту РФФИ № 15-04-00349 «От макета до виртуальной модели. Научные реконструкции в Истории архитектуры с учетом новейших технологий (на примере «классических» памятников архитектуры)» // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАРХИ: Материалы международной научно-практической конференции 3–7 апреля 2017 г. М.: МАРХИ, 2017. С. 24-29.
- 23. Климухин А.Г. Начертательная геометрия. М.: Архитектура-С, 2007.
- 24. Короев Ю.И. Начертательная геометрия. М.: Архитектура-С, 2014.
- 25. Раушенбах Б.В. Системы перспективы в изобразительном искусстве: общая теория перспективы. Москва: Наука, 1986.
- 26. Раушенбах Б.В. Геометрия картины и зрительное восприятие. Санкт-Петербург: Азбука-классика, 2002.
- 27. Соболев Н.А. Общая теория изображений. М.: Архитектура-С, 2004.

#### References

- Gibson J.J. The perception of the visual world. Boston: Houghton Mifflin, 1950.
- 2. Gibson J.J. The perception of visual surfaces. In. American Journal of Psychology 63, 1950, pp. 367–384.

- 3. Gibson J.J. The senses considered as perceptual systems. Boston: Houghton Mifflin, 1966.
- 4. Gibson J.J. The ecological approach to visual perception. Boston: Houghton Mifflin, 1979.
- 5. Karelin D. A. Reflection on Some Architectural Peculiarities of the Late Roman *Principia* in Egypt by the Example of Luxor. In. Vagalinski L., Sharankov N. (eds.). Limes XXII. Proceedings of the 22nd International Congress of Roman Frontier Studies, Ruse, Bulgaria. Sofia: National Archaeological Institute with Museum, 2015, pp. 359-368.
- Karelin D.A., Karelina M.A. Methods of reconstructions' presentation and the peculiarities of human perception. In. Kuroczyński P. (ed.) The Virtue of Models. Heidelberg: Heidelberg University Publishing, 2017 (forthcoming).
- 7. Karelin D.A. Klimenko Yu.G., Klimenko S.V. The methods and approaches to the visualisation of 3D reconstructions. In. Proceedings of the 20th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies 2015 (CHNT 20, 2015). Vienna, 2016. Available at: http://www.chnt.at/wp-content/uploads/eBook CHNT20 Karelin etal 2015.pdf
- 8. Polack J.A. Perception of Images Using non Planar Perspective (PhD diss.). Tampa: University of South Florida, 1997.
- 9. Rauschenbach B.V. Perceptual Perspective and Cézanne's Landscapes In. Leonardo 15. Oakland, 1982, pp. 28–33.
- 10. Sedgwick H.A. Visual space perception. In. Goldstein E. B. (Ed.) Blackwell handbook of perception. Oxford: Blackwell Publishers, 2001, pp. 128-167.
- 11. Sheehan P. Babylon of Egypt: the Archaeology of Old Cairo and the Origins of the City. Cairo: The American University in Cairo Press, 2010.
- 12. VRay for 3ds Max Manual. Camera Examples. Available at: <a href="https://www.vray.com/vray">https://www.vray.com/vray</a> for 3ds max/manual/vray for 3ds max camera examples.sht ml
- 13. Wittur J. Computer-Generated 3D-Visualisations in Archaeology: Between Added Value and Deception. BAR International Series 2463. Oxford: Archaeopress, 2013.
- Karelin D.A. Imaging of the Late Roman Castrum. Hypothetical Computer Reconstruction of Nag el-Hagar Fortress in Egypt In. Architecture and Modern Information Technologies, 2011, no.2(15). Available at: <a href="http://www.marhi.ru/eng/AMIT/2011/2kvart11/karelin/abstract.php">http://www.marhi.ru/eng/AMIT/2011/2kvart11/karelin/abstract.php</a>
- 15. Karelin D.A. Imaging of the Late Roman Castrum 2. Computer Reconstruction of the Roman Imperial Cult Temple in the Late Roman Fortress at Luxor in Egypt. Architecture and Modern Information Technologies, 2014, 1(26). Available at: http://www.marhi.ru/eng/AMIT/2014/1kvart14/karelin/abstract.php
- 16. Karelin D. A. Trehmernaja komp'juternaja rekonstrukcii hrama kul'ta rimskogo imperatora v pozdnerimskoj kreposti v Luksore [The 3D-reconstruction of Roman Imperial Cult Temple at the Late Roman Fortress at Luxor]. In. D.O. Shvidkovsky, Yu.E. Revzina and D.A. Karelin (eds.). Contemporary Architect and Classical Tradition: Proceedings of the Round Table held on the 8th of April 2015 at the international scientific-practical conference "Science, Education and Experimental Design" (6–10th of April 2015) at the Moscow Institute of Architecture. Moscow: MARHI, 2016, pp. 49-82.

- 17. Karelin D. A. Zhitpeleva T.I., Karelina M.A. Some Problems and Pequliarities of the 3d-Reconstruction of the Late Roman Fortresses in Egypt. Architecture and Modern Information Technologies, 2015, 3(32). Available at: <a href="https://www.marhi.ru/eng/AMIT/2015/3kvart15/karelin/abstract.php">https://www.marhi.ru/eng/AMIT/2015/3kvart15/karelin/abstract.php</a>
- 18. Karelin D.A., Klimenko C.V., Ju.G. Klimenko. *K voprosu o metodah i podhodah k podache 3D-rekonstrukcij* [About the methods and approaches of the presentations of 3D reconstructions. In. Nauka, obrazovanie i jeksperimental'noe proektirovanie v MARHI: Tezisy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, molodyh uchenyh i studentov. T. 2.]. Moscow, MARHI, 2016, pp. 239-240.
- 19. Karelin D. A., Klimenko Ju.G., Biljan K.N., Alekseeva D.A. *Rekonstrukcija arhitekturnyh osobennostej inter'era mavzoleev Tor de Sk'javi i Maksencija v Rime* [Reconstruction of architectural pequliarities of Tor de' Schiavi and Maxentius' mausileums interiors in Rome] // Architecture and modern information technologies. 2017, no. 2 (39). Available at: <a href="http://www.marhi.ru/eng/AMIT/2017/2kvart17/02">http://www.marhi.ru/eng/AMIT/2017/2kvart17/02</a> klimenko-karelin/index.php
- Klimenko S.V., Klimenko Ju.G., Karelin D. A. About Submenu Understood by the Creation of Scientific Reconstructions Historical and Architectural Research (Dangerous Trend of Recent Decades). Architecture and Modern Information Technologies, 2015, Special Issue. Available at: <a href="https://www.marhi.ru/eng/AMIT/2015/special/klimenko/abstract.php">https://www.marhi.ru/eng/AMIT/2015/special/klimenko/abstract.php</a>
- Klimenko S.V., Klimenko Ju.G., Karelin D. A. Sozdanie trehmernyh nauchnyh rekonstrukcij pamjatnikov arhitektury: opyt istoricheskih issledovanij v Moskovskom arhitekturnom institute [Scientific 3D-Reconstructions of Architectural Monuments: The Historical Research Experience at the Moscow Institute of Architecture. In. Actual Problems of Theory and History of Art: Collection of Articles. Vol. 6.]. Saint Petersburg, NP-Print, 2016, pp. 765-775.
- 22. Klimenko S.V., Karelin D.A., Klimenko Ju.G., Karelina M.A. *Virtual'naja jekskursija v arhitekturu proshlogo: vystavka, posvjashhennaja rezul'tatam raboty po proektu RFFI № 15-04-00349 «Ot maketa do virtual'noj modeli. Nauchnye rekonstrukcii v Istorii arhitektury s uchetom novejshih tehnologij (na primere «klassicheskih» pamjatnikov arhitektury)»* [Virtual excursion to the Architecture of the Past: Exhibition devoted to the Results of the Project "From a maquette to a virtual model. Scientific reconstruction in the architectural history considering the newest technologies (on the example of "classical" architectural monuments)"]. Moscow, MARHI, 2017, pp. 24-29.
- 23. Klimuhin A.G. Nachertatel'naja geometrija [descriptive geometry]. Moscow, 2007.
- 24. Koroev Ju.I. Nachertatel'naja geometrija [descriptive geometry]. Moscow, 2014.
- 25. Raushenbah B.V. Sistemy perspektivy v izobrazitel'nom iskusstve: obshhaja teorija perspektivy [Systems of perspective images in art: general theory of perspective]. Moscow, Nauka. 1986.
- 26. Raushenbah B.V. *Geometrija kartiny i zritel'noe vosprijatie* [Geometry of picture and visual perception]. Sankt-Peterburg: Azbuka-klassika, 2002.
- 27. Sobolev N.A. *Obshhaja teorija izobrazhenij* [general theory of the images]. Moscow, Arhitektura-S, 2004.

#### ОБ АВТОРАХ

# Карелин Дмитрий Алексеевич

Кандидат искусствоведения, профессор кафедры «Архитектура общественных зданий», Московский архитектурный институт (государственная академия); главный архитектор проектов ТМА Кожушаного Москва, Россия e-mail: dmitry.a.karelin@gmail.com

# Карелина Мария Алексеевна

Аспирант кафедры «Архитектуры общественных зданий», Московский архитектурный институт (государственная академия);

ведущий архитектор ТМА Кожушаного, Москва, Россия

e-mail: ahekjatta@gmail.com

#### **ABOUT THE AUTHORS**

# **Karelin Dmitry**

Ph.D., Professor of Chair of «Architecture of Public Buildings», Moscow Institute of Architecture (State Academy); Chief Architect of TMA Kozhushanogo, Moscow, Russia e-mail: dmitry.a.karelin@gmail.com

#### Karelina Maria

Postgraduate Student of Chair of «Architectural Planning of Public Buildings», Moscow Institute of Architecture (State Academy); Leading architect of TMA Kozhushanogo, Moscow, Russia e-mail: ahekjatta@gmail.com