

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ В АРХИТЕКТУРНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

В статье рассмотрены основные этапы развития и типология систем виртуальной реальности. Анализ современного опыта применения интерактивного виртуального прототипирования архитектурного пространства тесно связан с выявлением тенденций развития технологий виртуальной реальности. Изучены материалы по истории, теории современных систем виртуальной реальности, что способствовало комплексному аналитическому подходу при исследовании современных систем виртуального интерактивного архитектурного прототипирования. Выделены основные типы систем виртуальной реальности и дан обзор опыта их использования. Однако, в настоящее время отсутствуют материалы научных исследований, выявляющие такие аспекты как структуру систем виртуальной реальности, методические материалы и принципы прототипирования виртуальной архитектурной среды, анализ материалов апробации в архитектурном проектировании.

Цель исследования заключается в изучении особенностей развития систем виртуальной реальности и их применения в архитектурном проектировании. В соответствии с поставленной целью основными задачами являются установление типологии и тенденций развития систем виртуальной реальности в архитектурном проектировании, на основе методов изучения Интернет-ресурсов и сравнительного анализа научной литературы.

В условиях информационного общества современная архитектура находится в процессе преобразования и формирования новых инструментов, способов и принципов. В настоящее время первостепенную важность получает разработка новых методов проектирования, реновация устоявшегося архитектурного образования, поиск и построение связей и алгоритмов, программирование. Архитектору необходимо обращать внимание на информационные механизмы, влияющие на пространство, и осуществлять контроль над ними в реальном времени. Задачами направления в области научно-технического обеспечения развития архитектурно-строительного комплекса являются: создание комфортной и безопасной среды жизнедеятельности, на основе развития научно-технического прогресса и инновационной деятельности в сфере архитектуры и градостроительства; формирование комплекса информационно-технологических средств и технологий, обеспечивающих функционирование и опережающее развитие комплекса; разработка и совершенствование новых методов проектирования архитектурных объектов.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, архитектурное проектирование, компьютерное моделирование, интерактивное виртуальное прототипирование, архитектурное пространство.

## THE DEVELOPMENT TRENDS OF VIRTUAL PROTOTYPING SYSTEMS IN ARCHITECTURAL DESIGN

*The article describes the main stages of development and typology of virtual reality systems. The application experience of interactive virtual prototyping systems in architectural environment related with the identification of virtual technology trends. Materials of the history and theory of modern virtual reality systems were studied which contributed to a comprehensive analytical approach in the study of modern interactive architectural prototyping systems. The main types of virtual reality systems and the experience of their application were reviewed. However, at the moment, there are no materials of scientific research that reveal such aspects as the structure of virtual reality systems, methodological materials and principles of architectural environment prototyping, analysis of the approbation materials in architectural design.*

*The purpose of the research is to explore development features of virtual reality systems and their application in architectural design. In accordance with the intended purpose, the main tasks are: identification of typology and modern virtual reality trends in architectural design, based on the methods of Internet resources study and comparative analysis of the scientific literature.*

*In conditions of informational society the modern architecture is in the process of transformation and development of new tools, methods and principles. Currently such directions receive primary importance – the development of new design methods, renovation of establishing architectural education, search and build relationships and algorithms, programming. The architect is needed to focus on the information mechanisms that provide impact on the environment, and to exercise control over them in real time. The tasks of direction in the field of scientific and technical support of the development of architectural and building complex are: creation of a comfortable and safe living environment, through the development of scientific and technological progress and innovation in the field of architecture and urban planning; formation of a complex information technological tools and technologies that support the introduction and rapid development of a complex; development and improvement of innovation architectural design methods.*

**Keywords:** *virtual reality, architectural design, computer modeling, interactive virtual prototyping, architectural environment.*

Комплексный подход к архитектурной деятельности в полной мере под силу архитектору, который реализует замысел произведения, руководя всеми стадиями от проектирования до реализации, особенно при относительно малом масштабе работ и постоянности архитектурных объектов. С расширением типового состава объектов и увеличением объемов работ при проектировании возникает диссонанс между потребностью осуществления профессиональной функции и реальными возможностями проектировщика, особенно в области стратегического проектирования развития городов. Процесс воплощения идеи делится на стадии, которыми руководит не только создатель идеи, тем самым идея подвергается изменению – постоянно меняется струк-

тура системы. Это определяет необходимость в проведении исследований эволюции способов комплексного архитектурного проектирования, выявление новых методологических и технологических возможностей, которые имеются в распоряжении современных архитекторов [1].

В архитектурную деятельность постепенно внедряются современные информационные технологии, что способствует появлению и развитию новых форм профессионального мышления. Виртуальная реальность, определившись как крупнейшее достижение техники конца XX века, становится серьезнейшим аспектом развития науки, техники и культуры. Уже сейчас виртуальная реальность заявляет о себе, как о средстве преобразования объективной реальности. Она вполне

может стать реальным помощником в комплексном проектировании и исследовании не только техники, но и архитектурной среды.

### Предпосылки развития виртуальной реальности

Одна из первых теоретических работ об истории виртуальной реальности – книга журналиста Ф. Хэммита «Виртуальная реальность». Автор описывает исторические предпосылки возникновения виртуальной реальности в становлении искусственных возможностей кино и кино-симуляторов. Основные положения замысла виртуальной реальности в отношении осознания направления совершенствования компьютерных технологий состоят, по его мнению, в следующем:

- в зависимости от улучшения программного обеспечения функции компьютера могут кардинально изменяться.
- виртуальная реальность — адаптивная, более оптимизированная для способностей человека возможность ориентации в электронно-информационной среде, которая создана на основе функционально-интерактивного интерфейса.
- взаимодействие с виртуальными компонентами потенциально достаточно схожи с реальными инструментами и предметами.
- действия в среде виртуальной реальности носят акцентированно игровой характер быстроты и легкости.
- ощущение единства техники с пользователем при перемещении последнего в виртуальный мир сопровождается восприятием воздействия виртуальных объектов идентично реальным.

Ф. Хэммит отметил, что рассогласование соответствующих данных с перцептивной системой человека может привести к диссонансу восприятия, значимым дезориентациям и психонервным заболеваниям [3]. Он также зафиксировал серьезные технологические трудности в развитии технологий виртуальной реальности, связанные с необходимостью создания компьютеров гигантской мощности для обработки графических изображений.

Первый метафизик киберпространства М. Хайм в своих работах рассматривает три маркера реальности, которые определяются «встроенными рамками» реальности. Эти рамки задаются такими параметрами человеческого существования, как неизбежность смерти, чувство времени и существование внутри разнообразных взаимодействий, например, дружеских и родственных отношений [5]. Именно эти маркеры, главным образом, заставляют человека чувствовать себя твёрдо в этом мире, также они придают действительности различные качества реальности. Но существуют и другие маркеры, например, воздействия внешней среды. Они играют роль

передачи ощущения реальности в восприятии, когда создаётся система виртуальной реальности. Как отмечал М. Хайм, виртуальная реальность и киберпространство должны основываться на воображении. И тогда она сможет предоставить способ преодолеть экзистенциальную ограниченность реальности: выйти за рамки маркеров смерти, времени и тревоги; прекратить чувствовать заброшенность и конечность, достичь безопасности [7]. Стремления преодолеть эти рамки реальности с древнейших времён не оставляли в покое разум человека.

Виртуальная реальность при ближайшем рассмотрении идентична с идеализмом Платона [8]. Носители объектов виртуального мира представляют собой в памяти компьютера нули и единицы, их материальность сомнительна. «Идея» в платоновском понимании – это любая информация, образ материи. И в функционале компьютера она не исчезает со временем и может перемещаться по миру в виртуальном, а значит, нематериальном пространстве. Воображаемые идеи виртуального мира на определённых носителях преобразуются в чувственно осязаемые объекты. Они воспринимаются практически достоверными. Учение Платона об идеях, о существовании двух миров: мира идей и мира вещей, или форм, рассматривается как одна из основных предпосылок возникновения виртуальной реальности [2].

### Этапы развития систем виртуальной реальности

Попытки воплотить в жизнь идею об устройстве, которое позволяет человеку погрузиться в иную реальность, проводятся с 1960-х годов, все это берет начало со стереоскопических аппаратов со звуковым сопровождением Sensogama. Основателем виртуальной реальности принято считать И. Сазерленда, сформулировавшего концепцию и продемонстрировавшего опытные образцы. Они были большого размера, и некачественное изображение дисплеев негативно сказывалось на самоощущениях и ориентации в пространстве пользователя. Поэтому в то время они не получили широкого распространения, но послужили основой дальнейших разработок. В 70-е годы XX века М. Крюгер исследовал эстетический и коммуникативный потенциал устройств, которые порождали «искусственную реальность». В конце 80-х – начале 90-х годов XX века появились коммерчески доступные системы виртуальной реальности. Но простенькая гарнитура, во многом благодаря дисплеям и системам отслеживания движений стоила очень дорого. В то время, системы виртуальной реальности доставались только самым богатым учреждениям — научным лабораториям и военным для подготовки.

В начале 90-х годов XX века компания

Virtuality Group выпустила мощные гарнитуры виртуальной реальности с невероятным на то время разрешением дисплеев - 276x372 точек [4]. Совместно с развитием систем автоматизированного проектирования (CAD) в XX веке начинают использоваться стереоскопические системы, формирующие объемное виртуальное изображение, а также проекционные системы. Современные версии систем виртуальной реальности, созданные в XXI веке, имеют разрешение дисплея 1080x1200 точек. Сегодня благодаря невероятному развитию технологий дисплеи стали доступнее, удалось решить проблемы, связанные с качеством восприятия виртуальной реальности. Решены проблемы задержки обновления картинки, а также укачивания [6]. Стремительно совершенствуются системы на основе очков виртуальной реальности. Колоссальное падение стоимости процессоров, общее удешевление и миниатюризация сопутствующих технологий привели к тому, что в 2012 году запущена в массовое производство система виртуальной реальности, которую можно приобрести в десятки и даже сотни раз дешевле, чем самую лучшую систему виртуальной реальности десять лет назад. Системы виртуальной реальности получили широкое распространение в тренажерах-симуляторах, игровой индустрии, виртуальном прототипировании сложной техники, создании планетариев, стратегическом планировании городов и моделировании архитектурной среды.

### Типология систем виртуальной реальности

Системы виртуальной реальности могут оснащаться различными периферийными устройствами в зависимости от необходимых функциональных особенностей. Это могут быть перчатки виртуальной реальности, различные джойстики, костюмы и датчики захвата движений или устройства тактильной обратной связи. Все эти технологии виртуальной реальности позволяют, как дополнять настоящую реальность виртуальными объектами, так и взаимодействовать с виртуальной сценой с высокой степенью интерактивности [9].

Системы виртуальной реальности для профессиональных целей должны отвечать высоким стандартам качества изображения, поэтому в большинстве случаев они начали создаваться на базе стереоскопических проекционных систем. Проекционная техника позволяет создавать системы виртуальной реальности высокого разрешения, требуемая вычислительная мощность достигается за счет использования специализированных графических станций. Изображение может проецироваться на различные поверхности, что позволяет реализовать различные конфигурации систем.

Комната виртуальной реальности – это система виртуальной реальности, состоящая из нескольких экранов, формирующих целую комнату экранов, окружающих пользователя со всех сторон. В англоязычной литературе такая система называется CAVE (Computer-Aided Virtual Environment) то есть создаваемая компьютером виртуальная среда. Такая конфигурация позволяет одновременно нескольким пользователям совместно манипулировать сложными трехмерными моделями в реальном масштабе.

Также применяются стереоскопические проекционные системы, построенные на базе одного экрана. Широкоформатный экран, размер которого может достигать более 10 метров, обеспечивает достаточный уровень погружения и интерактивности для коллективной работы группы экспертов из различных областей знаний, может быть выполнен в виде прямой поверхности, панорамной поверхности (до 180 градусов) или купола (полусферы) для создания цифровых планетариев, специализированных симуляторов и архитектурных инсталляций.

Дополненная реальность — смешанная реальность (mixed reality), создаваемая при помощи дополненных с помощью компьютера элементов воспринимаемой реальности (когда виртуальные объекты помещаются в поле восприятия существующей реальности). Системы дополненной реальности начали активно распространяться с развитием мобильных технологий [10]. Существует множество программных продуктов для мобильных устройств, которые позволяют при помощи дополненной реальности получить необходимые сведения об окружении: браузеры дополненной реальности и специализированные программы для отдельных сервисов, компаний или даже единственных трехмерных моделей. Само распространение дополненной реальности и нарастающая известность технологии среди потребителей связано с тем, что вычислительная мощность и набор датчиков в аппаратных платформах для смартфонов и планшетов-компьютеров позволяют производить наложение любых цифровых данных на изображение, получаемое в реальном времени со встроенных в устройства камер. Таким образом системы дополненной реальности получили широкое применение в рекламе, медицине, военной технике и архитектуре. При этом качество дополненных виртуальных объектов ограничено вычислительной мощностью компьютерного устройства. Такие системы подходят для реализации небольших объемов данных. Например, современный смартфон позволяет запустить приложение дополненной реальности, с помощью которого возможно дополнить реальный макет застройки территории, выполненного из бумаги, виртуальной архитек-

турной трехмерной моделью проектируемого здания. Но для того, чтобы реализовать детализированную трехмерную модель района или целого города, потребуются большие вычислительные мощности – такие виртуальные проекты возможно реализовать при помощи достаточно мощной рабочей графической станции (персонального компьютера) и подключенной видеокамеры. В отличие от других систем виртуальной реальности, системы дополненной реальности серьезно ограничены размером экрана вычислительного устройства, так как именно на него выводится изображение дополненной виртуальной модели, а также положением виртуальной модели в пространстве.

Системы на основе очков виртуальной реальности (Head-mounted display) – устройства, позволяющие частично погрузиться в мир виртуальной реальности, создающие зрительный и акустический эффект присутствия в определенном компьютерном виртуальном пространстве. Представляет собой конструкцию, надеваемую на голову, снабженную видеозеркалом и акустической системой. Объемное изображение создается путем вывода на дисплей двух изображений для каждого глаза пользователя. Кроме того, система на основе очков виртуальной реальности обычно содержит гироскопический или инфракрасный датчик положения головы пользователя в пространстве. Системы на основе очков виртуальной реальности значительно проще и дешевле стереоскопических проекционных систем и могут быть выполнены, как с применением датчиков отслеживания перемещения, так и без них, по необходимости. Такие системы подходят для решения широкого спектра задач от визуализации дизайна и архитектурных решений до симуляций производственных процессов и поведенческих исследований. Главным преимуществом таких систем является возможность интерактивного взаимодействия и свободного перемещения в виртуальной трехмерной среде с учетом реального масштаба и визуализации в реальном времени.

В настоящее время системы на основе очков (шлемов) виртуальной реальности являются наиболее востребованными и доступными по сравнению со стереоскопическими проекционными системами, ведутся разработки по усовершенствованию конструкций и возможностей элементов системы [9].

Существуют различные гибридные варианты систем виртуальной реальности: например, система, в которой получение корректной проекции изображения на плоскости достигается за счет расположения проекторов непосредственно на очках, а стереоскопическое разделение — за счет использования световозвращающего покрытия поверхности, на которую ведётся проециро-

вание. Но такие устройства не распространены и существуют лишь в виде прототипов.

### **Тенденции применения систем виртуальной реальности в архитектурном проектировании**

Современные системы компьютерного моделирования активно распространяются как в архитектурно-строительной, так и во многих других сферах деятельности. Необходимо отметить наиболее развивающиеся направления современного компьютерного моделирования в архитектурном проектировании, такие как информационное моделирование зданий (BIM), параметрическое моделирование, моделирование на основе лазерного сканирования и симуляции воздействий внешних факторов среды (сейсмические, термические, аэродинамические). Все эти направления представлены программно-аппаратными комплексами, в которых основным способом ввода и вывода информации на стадиях проектирования и презентации готового решения является использование монитора вычислительного устройства.

Статические изображения готовых проектных решений все чаще заменяются интерактивными анимированными сценами, позволяющие более наглядно представить особенности проекта в различных условиях, приближенных к реальным. Пользователь имеет возможность изменять положение и направление взгляда в трехмерной сцене в реальном времени, изменять заданные свойства виртуальных объектов. С использованием систем дополненной реальности такие виртуальные интерактивные сцены стали более приближены к существующей реальности, так как стало возможным внедрять виртуальные объекты путем наложения в изображения реального мира. Кроме того, дополненная реальность стала способом нового направления представления и анализа проектных решений – интерактивного макетирования, как альтернативы бумажного архитектурного макетирования. Такой способ представления архитектурных форм значительно экономичнее и позволяет легко заменять архитектурную виртуальную модель на любой стадии проектирования. Появление интерактивной составляющей в презентации проектных решений позволило не только усилить виртуальные ощущения присутствия, но и позволить пользователю виртуальной сцены «оживить» проект. При этом необходимо отметить, что масштаб и пропорции объектов значительно отличаются от реальных, так как пользователь воспринимает изображение виртуальных объектов относительно размеров и положения экрана монитора устройства, которое формирует это изображение.

Архитектурно-строительные компании и студии дизайна используют инновационные системы проектирования, что, в первую очередь, позво-

ляет выполнять проекты быстрее и избежать на стадии разработки и согласования с заказчиком многих проблем, которые могут возникнуть при реализации проекта. Появление шлемов виртуальной реальности решает проблемы масштабности и перемещения в виртуальной среде. В процессе творческой деятельности от эскизирования до утверждения проекта современный архитектор располагает программными продуктами, ориентированными не только на многовариантное моделирование форм, но и на физически корректное представление проекта заказчику, распространяя виртуальный процесс проектирования на этап эксплуатации функционирующего объекта. Выражение архитектурной концепции с применением цифровых технологий моделирования виртуальной реальности позволяет переосмыслить роль формы в контексте организации комфортной и безопасной пространственной среды.

Использование современных технологий виртуальной реальности предполагает новый взгляд на интерактивное прототипирование трехмерных моделей архитектурной среды в следующих направлениях: моделирование городских общественных пространств и малых архитектурных форм, моделирование жилых и общественных зданий, моделирование промышленных зданий и дизайн интерьера, а также повышении энергоэффективности объектов архитектуры.

Комплексный подход к архитектурной задаче снова становится доступен архитектору, который может увидеть свое произведение в полном объёме и масштабе, даже если не руководит возведением, осуществляя замысел проекта. Это достижимо с помощью систем виртуальной реальности. С развитием этой технологии сокращается разрыв между потребностью осуществления профессиональной функции и реальными возможностями проектировщика.

В первом этапе проектирования определяют потребности людей, формулируется задача на проектирование. Системы виртуальной реальности способствуют тому, что будет видна полная градостроительная ситуация, архитектурная среда с учётом реального масштаба и пропорций,

а также позволит архитектору работать удалённо, не выезжая на место будущего строительства.

Во втором этапе проходят творческие формулирование идеи произведения, познавательные процессы и генерация решений. С применением виртуального прототипирования появляется возможность более точного анализа на ранних этапах эскизирования множества вариантов композиционной структуры архитектурного объекта и её соответствия окружающему пространству. А также создания соответствующих прототипов архитектурной концепции, и изменения структурных компонентов произведения в режиме «реального времени». Во время проектирования можно будет сразу понять эргономику проектируемой среды, её удобство и комфорт для человека. На более поздней стадии генерации решений использование систем сможет помочь с выбором отделочных материалов, цветового оформления и его визуального восприятия конкретным заказчиком, а также различных видов освещения.

Третий этап выявляет соответствия или несоответствия принятого решения, что выполняется с помощью анализа материала, созданного на первом этапе. Системы виртуальной реальности смогут широко применяться при согласовании проекта с заказчиком. В широко используемом в настоящее время методе проектирования, даже с применением компьютерного моделирования и визуализации, при проведении первого и третьего этапа анализ был относительно доступен, но процесс, действующий на втором этапе, меньше поддавался оценке. Эта проблема может быть решена с помощью метода виртуального прототипирования. Возможность не только взаимодействия с виртуальной средой, но и её преобразование, определяет необходимость в усовершенствовании существующего специализированного программного обеспечения или разработке нового, а также формирования научно обоснованных методических рекомендаций по использованию этого программного обеспечения для систем виртуальной реальности в архитектурном проектировании.

### Заключение

В процессе исследований получены следующие результаты:

- рассмотрены различные предпосылки возникновения и развития виртуальной реальности;
- проведён краткий обзор истории развития систем виртуальной реальности;
- описаны типы систем виртуальной реальности;
- выявлены особенности виртуальной реальности как средства презентации и как средства архитектурного проектирования;
- спрогнозированы тенденции применения систем виртуальной реальности.

Полученные результаты способствуют развитию теории современной архитектурной науки, совершенствуют развитие профессионального сознания и мышления, ориентируют архитектурную деятельность на улучшение качества жизненной среды современного человека, могут служить научной основой для дальнейших исследований и направлений инновационного развития в области архитектурного проектирования и систем виртуальной реальности.

## Литература

1. Асанович А.П. Компьютерные средства и эволюция методологии архитектурного проектирования // Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора архитектуры / Московский Архитектурный Институт, г. Москва, 2007. – с.341.
2. Браславский П.И. Виртуальная реальность: технология на пересечении философских концепций // Рационализм и культура на пороге третьего тысячелетия: Материалы Третьего Российского философского конгресса (16-20 сентября 2002 г.). В 3 т. Т.1. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – С. 341-343.
3. Дзюбенко М.А. Дайджест книги Фрэнсиса Хэммета “Виртуальная реальность”. – М., 1993.
4. История развития технологий виртуальной реальности. Профессиональный информационный ресурс «Arnext». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arnext.ru/articles/istoriya-stanovleniya-virtualnoj-realnosti-19885> (дата обращения: 28.12.2016)
5. Розин В.М. Технология виртуальной реальности. Проблемы. // Аномалия. №1. – 1995.
6. Хайм М. Метафизика виртуальной реальности // Исследования по философии современного понимания мира. – № 1. – М. – 1995.
7. Цветов В.П. О восприятии изменённых и виртуальных реальностей // Виртуальная реальность в психологии и искусственном интеллекте / Рос. ассоц. искусств. интеллекта; сост. Чудова Н.В. – М., 1998. – С.273.
8. Шаповалов Е.А. Философские размышления о виртуальной реальности. // Вестник Санкт-Петербургского университета, – Серия 6, – Выпуск 2, – 1996.
9. Jerald J. The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality. – Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool, New York, NY, USA, 2015.
10. Wang X., Schnabel M.A. Mixed Reality In Architecture, Design, And Construction. – Springer Science+Business Media B.V. 2009.

## References

1. Asanovich A.P. Kompyuternye sredstva i evolyuciya metodologii arhitekturnogo proektirovaniya // Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchyonoy stepeni doktora arhitektury / Moskovskiy Arhitekturnyy Institut, g. Moskva, – 2007. – s.341.
2. Braslavskiy P.I. Virtualnaya realnost: tehnologiya na peresechenii filosofskih koncepciy // Racionalizm i kultura na poroge tretogo tysyacheletiya: Materialy Tretogo Rossiyskogo filosofskogo kongressa (16-20 sentyabrya 2002 g.). V 3 t. T.1. – Rostov n/D: Izd-vo SKNC VSh, 2002. – S. 341-343.
3. Dzyubenko M.A. Daydzhest knigi Frensis Hemmeta “Virtualnaya realnost”. – M., 1993.
4. Istoriya razvitiya tehnologiy virtualnoy realnosti. Professionalnyy informacionnyy resurs «Arnext». [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://arnext.ru/articles/istoriya-stanovleniya-virtualnoj-realnosti-19885> ( data obrascheniya: 28.12.2016)
5. Rozin V.M. Tehnologiya virtualnoy realnosti. Problemy. // Anomaliya. №1. – 1995.
6. Haym M. Metafizika virtualnoy realnosti // Issledovaniya po filosofii sovremennogo ponimaniya mira. – № 1. – М. – 1995.
7. Cvetov V.P. O vospriyatii izmenyonnyh i virtualnyh realnostey // Virtualnaya realnost v psihologii i iskusstvennom intellekte / Ros. assoc. iskucstv. intellekta; sost. Chudova N.V. – М., 1998. – S.273.
8. Shapovalov E.A. Filosofskie razmyshleniya o virtualnoy realnosti. // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta, – Seriya 6, – Vypusk 2, – 1996.
9. Jerald J. The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality. – Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool, New York, NY, USA, 2015.
10. Wang X., Schnabel M.A. Mixed Reality In Architecture, Design, And Construction. – Springer Science+Business Media B.V. 2009.

**Чистяков А. В.,**

архитектор магистр, аспирант, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: perfidem@list.ru

---

**Chistyakov A.V.,**

master of science (architecture), postgraduate student, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia. E-mail: perfidem@list.ru

---

*Поступила в редакцию 23.01.2017*