

# МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ VR-ПРИЛОЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ

**Шакшак Омар Мохаммедович**

магистрант,  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».  
Россия, Санкт-Петербург, e-mail: [omar.shakshak@mail.ru](mailto:omar.shakshak@mail.ru)

**Евсиков Игорь Александрович**

старший преподаватель кафедры информационных технологий,  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».  
Россия, Санкт-Петербург, e-mail: [ievsikov@lan.spbgasu.ru](mailto:ievsikov@lan.spbgasu.ru)

УДК: 004(72)

ББК: 30.2-5-05

## Аннотация

*В статье описаны дополнительные решения по проекту VR-приложения на основе BIM проекта с возможностью управления параметрами энергоэффективности здания. В проекте появилась возможность импортировать подробную информацию о помещениях и источниках света из Autodesk Revit, что позволяет в игровом движке Unreal Engine создавать качественную квартирографию и оценивать уровень освещенности строительного объекта.*

*В последнее время приобретает большую популярность направление VDC (Virtual design and construction). Его использование позволяет обнаруживать ошибки проектирования на ранних этапах и значительно снижает вероятность экстенсивного перепроектирования. Модельные элементы, которые зависят друг от друга, поддерживают «отношения» в процессе изменений любого элемента, а использование виртуальной среды дает быструю подготовку и обмен визуальной информацией. Данный проект реализован в рамках VDC. Его применение упрощает обмен сложными идеями и дает больше возможности для творческого сотрудничества с заказчиками.*

## Ключевые слова:

*BIM, энергоэффективность здания, квартирография, цифровая модель, VR, VDC, Unreal Engine, рендеринг в режиме реального времени*

## Введение

Вопросы повышения энергоэффективности зданий в последние десятилетия приобретают все большую значимость в связи с возрастающей потребностью в использовании альтернативных источников энергии. В статье рассмотрены основные способы цифрового моделирования энергоэффективности зданий и предложена интерактивная цифровая модель для оценки энергоэффективности, разработанная на основе совместного использования средств виртуальной реальности и BIM-модели объекта строительства. В полученном приложении производится расчет теплового баланса, необходимого количества энергии на отопление и освещение, а также рассчитывается эффективность использования альтернативных источников энергии, таких как солнечные батареи и ветрогенераторы. Пользователю данной модели дана возможность самостоятельного выбора средней температуры в будущем объекте, что особенно важно для жилых зданий. При этом пользователю необязательно обладать какими-либо специальными знаниями благодаря простому и интуитивно понятному интерфейсу. При работе с цифровой моделью у пользователя есть возможность в режиме реального времени свободно перемещаться в трехмерном пространстве, производить манипуляции с заданным набором источников

энергии, а также с помощью средств виртуальной реальности взаимодействовать с источниками света и изменять интерьер.

Полученный проект унаследовал от предыдущего инструменты по расчету энергоэффективности, позволяющие рассчитать затраты электричества на отопление с учетом свойств строительных материалов, заложенных в проект, климатических условий и предпочтительной температуры внутри здания. Плагин Datasmith в сочетании со скриптами Dynamo в Revit и Blueprint в Unreal Engine является мощным инструментом, позволяющим импортировать источники света со встроенными метаданными по электропотреблению. Эти параметры можно добавить в общую схему расчетов энергозатрат здания, повысив ее точность и универсальность. Помимо этого можно учитывать нагрев здания от солнечной радиации, анализируя геометрические параметры, используемые строительные материалы, ориентацию по сторонам света и географическое расположение [3].

На рынке недвижимости важно дать потенциальному покупателю возможность качественно оценить будущее здание. Для реализации такой цели на сегодняшний день существуют готовые решения – такие как Revit Live, Enscape и Twinmotion [4]. Эти программы позволяют пользователю виртуально пройтись по будущему объекту недвижимости, изменить интерьер и освещение, оценить эргономичность. Однако у них есть существенный недостаток – отсутствие квартирографии. Пользователь не может в режиме реального времени узнать информацию о площади, высоте потолков, стоимости квартир или помещений. Этот недостаток можно решить, используя дополнительные объекты в Revit и плагин Datasmith. При таком подходе появляется возможность переносить полезную информацию квартирографии в виртуальную сцену, созданную на игровом движке Unreal Engine.

При создании проекта возникает несколько сложностей, плагин Datasmith работает только с геометрическими объектами, источниками освещения и камерами, что не позволяет импортировать информацию из таких семейств, как помещения. В связи с этим был создан скрипт в Dynamo, решающий данную проблему. Такой подход позволяет в игровом движке обработать импортируемые данные и распознать помещения. В результате в каждой комнате виртуальной сцены здания при нажатии на определенную клавишу появляется информационное табло, включающее полезную информацию о помещении, в котором находится пользователь.

## Математическая модель

Изучение поставленной задачи затрагивает многие дисциплины: строительную теплофизику, термодинамику, теплообмен и численные методы. В каждой из них есть множество исследований и разработок, но не все теоретические решения нашли применение в реальной жизни. Многие разработки 1960–1970-х гг. только в начале XXI в. начинают использоваться в математическом моделировании теплофизических процессов. Связанно это с широким распространением мощных персональных компьютеров и программного обеспечения, с развитием средств визуализации.

Для постановки математической модели энергоэффективности здания необходимы следующие параметры:

- 1) площади всех ограждающих конструкций;
- 2) коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций;
- 3) данные о температуре снаружи и внутри здания.

Первый и второй пункты берутся из атрибутов BIM-модели. Температуру внутри здания пользователь выбирает сам с учетом собственного предпочтения по тепловому комфорту.

В качестве примера было решено взять температуру 23 °С. Температура снаружи берется из СП131.13330.2012 «Строительная климатология» [5]. В данной работе используются данные для Санкт-Петербурга (табл. 1).

Таблица 1

## Среднемесячная и среднегодовая температура в Санкт-Петербурге

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Санкт-Петербург	-6,6	-6,3	-1,5	4,5	10,9	15,7	18,3	16,7	11,4	5,7	0,2	-3,9	5,4

Зная все эти параметры, можно найти теплотепери через наружные ограждения с помощью следующей формулы:

$$T_i = K_i(\tau - t_{cp,i})F_i, \quad (1),$$

где  $K_i$  – коэффициент теплопередачи от внутренней поверхности ограждения к внешней среде, температура которой равна  $t_{cp,i}$ ,

$F_i$  – площадь поверхности ограждения,

$\tau$ , – температура внутри здания.

Воздух помещения, соприкасаясь с нагретыми или охлажденными поверхностями, нагревается или охлаждается. Кроме того, он получает или отдает тепло в процессе теплообмена. Уравнение теплового баланса воздуха в помещении имеет вид:

$$\sum T_i \pm Q_B = 0, \quad (2)$$

где  $Q_B$  – количество конвективной теплоты, которое непосредственно передается воздуху помещения или забирается из него [6].

В программе автоматически определяется площадь ограждающих конструкций, затем из атрибутов BIM-модели берутся необходимые коэффициенты и находятся суммарные теплотепери за год.

На базе графика уличного освещения в Санкт-Петербурге по протоколу №5 от 01.11.2018 городской МВК [7] можно сделать прогноз максимального использования осветительных приборов в жилом доме. В данном прогнозе предполагается постоянная работа осветительных приборов в темное время суток с вычетом времени на сон (7 часов ежедневно). Это позволяет улучшить расчет энергоэффективности.

В математическую модель программы заложен расчет оптимального количества альтернативных источников энергии, полностью покрывающих затраты на отопление и освещение (W). Для этого применяется симплекс-метод: в качестве переменных используется количество источников энергии, а минимизируемая целевая функция – это их суммарная стоимость. При этом суммарная средняя вырабатываемая энергия ( $x \cdot Q_x + y \cdot Q_y$ ) должна быть больше или равна W (табл. 2, 3).

Таблица 2

## Исходные данные

	Кол-во, шт.	Ср. мощность, кВт/год	Стоимость, тыс. руб.
Солнечные батареи	$x$	$Q_x$	$S_x$
Ветрогенераторы	$y$	$Q_y$	$S_y$

Таблица 3

## Постановка задачи оптимизации

Целевая функция	$x \cdot S_x + y \cdot S_y$	$\rightarrow \min$
Ограничение	$x \cdot Q_x + y \cdot Q_y$	$\geq W$

Следующий рассматриваемый вопрос – окупаемость использования альтернативных источников энергии. В расчет берется суммарная стоимость солнечных батарей и ветрогенераторов, указанная ранее. Рассчитывается стоимость затрат на отопление электричеством за год без использования собственных генераторов (тариф по Ленинградской области 3,46 руб./кВт•ч, включая НДС) [8]. С использованием полученных данных рассчитывается срок окупаемости генераторов по следующей формуле:

$$T = \frac{S}{3.46 \cdot W}, \quad (3)$$

где  $S$  – суммарная стоимость используемых альтернативных источников энергии,  $W$  – суммарные затраты электричества за год.

## Регламент

Работа по созданию информационной модели здания проходит в программе Autodesk Revit. Модель коттеджа, с которой проведена работа по добавлению параметров для создания BIM перед экспортом в Unreal Engine, представлена на рис. 1.

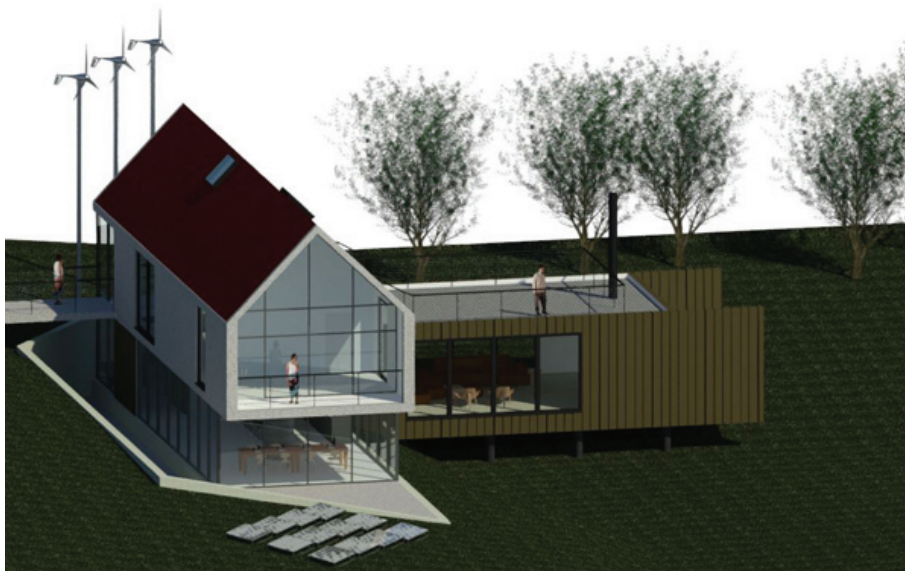


Рис.1. Модель коттеджа

Для расчета энергоэффективности данной модели необходимо, чтобы у каждой наружной стены, окон, витражей и у крыш, были прописаны коэффициенты теплопередачи –  $U$  (рис. 2).

Свойства аналитической модели	
Коэффициент теплопередачи (U)	1.0478 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
Термостойкость	0.9544 (м <sup>2</sup> ·К)/Вт
Теплоемкость	4.07 кДж/К
Коэффициент поглощения	0.100000
Шероховатость	1

Рис. 2. Свойства аналитической модели

Данный коэффициент привязывается к материалу объекта, так что при выборе материала для стен и крыш требуется учитывать тепловую изоляцию, именно этот материал влияет на коэффициент теплопередачи.

При работе с окнами на коэффициент U влияет аналитическая конструкция окна (рис. 3). В Revit ограниченный набор конструкций; при попытке поменять коэффициент U на более высокий программа выдает сообщение об ограничении, так как предполагается, что данный дом расположен в Ленинградской области. В ходе решения данной проблемы выяснилось, что данные коэффициенты прописываются в сервисном файле \*.XML, где и можно их поменять.

Свойства аналитической модели	
Аналитическая конструкция	Большие окна с двойным остеклением (зеркальное покрытие) - для производственных зданий
Пропускание видимого света	0.070000
Коэффициент теплопритока от солнечного излучения	0.130000
Термостойкость	0.3129 (м <sup>2</sup> ·К)/Вт
Коэффициент теплопередачи (U)	3.1956 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)

Рис. 3. Свойства аналитической модели окна

Как сказано выше, квартирография в программных продуктах, предназначенных для визуализации в строительных объектах, отсутствует. В некоторых из них можно просмотреть метаданные объекта, но это полезно в основном для застройщиков. Также имеется возможность взаимодействовать с интерьером, перемещать и поворачивать мебель, что автоматически повлияет на чертежи проекта. Но грамотная квартирография – важный нюанс для покупателей, на это и нацелен наш проект.

Для реализации данного аспекта необходимо на стадии создания информационной модели реализовать квартирографию в Revit, где у каждого помещения должны быть прописаны следующие данные:

- название помещения;
- площадь;
- высота потолков;
- жилое или нежилое.

Далее с помощью созданного скрипта реализуется обработка всех этих данных и присвоение их новому семейству, созданному специально для экспорта в игровой движок.

Данный регламент позволяет в игровом движке визуализировать все метаданные, а также общую информацию о строительном объекте.

Кроме того, необходимо учитывать, что при создании информационной модели многие проектировщики не учитывают и не прописывают мощности источников света. Это накладывает дополнительные регламенты в построении модели.

Большую часть наружного покрытия первого этажа в проекте занимают витражи. В Revit витражи принадлежат семейству «стены», но в метаданных не указан коэффициент теплопередачи. Витражи являются составным объектом и должны иметь коэффициент теплопередачи такой же, как у соответствующих системных панелей (рис. 4).

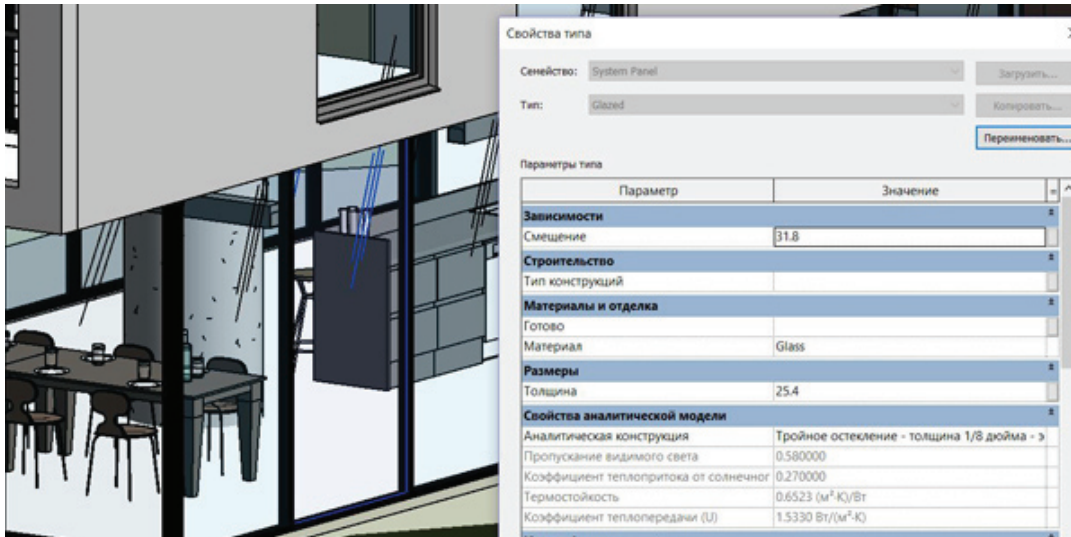


Рис. 4. Свойства типа панели витража

В данном случае было решено взять коэффициент у панели и присвоить его витражу. Для решения этой задачи был реализован скрипт в Dynamo [9]. Графический код, позволяющий решить данную проблему, продемонстрирован на рис. 5.

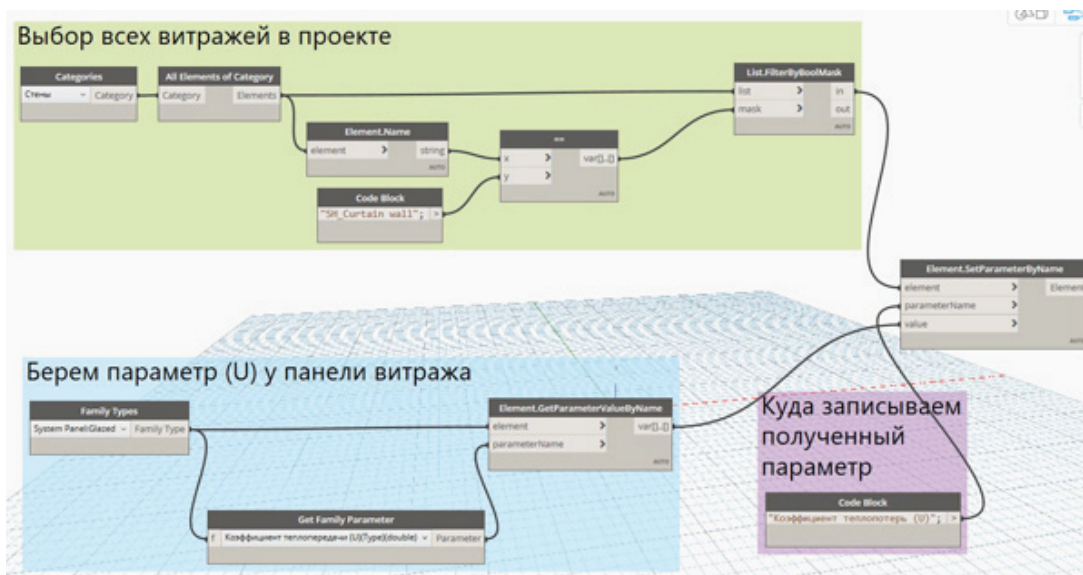


Рис. 5. Прописанная логика в Dynamo

В ходе решения математической модели на игровом движке Unreal Engine изначально было решено все реализовать с помощью встроенного графического языка программирования Blueprint [10]. Визуальный сценарий Blueprint – это система, которая используется во всех версиях Unreal Engine и всегда выполняет одну и ту же ключевую задачу. Blueprint позволяет создавать и редактировать мощные визуальные сценарии для управления различными частями проекта [11]. Данное решение помогает упростить процесс импорта данных на объекты в самой сцене.

В данном проекте Blueprint используется для ограничения движения персонажа, его взаимодействия с предметами интерьера, позволяет реализовать поставленную математическую модель (рис. 6).

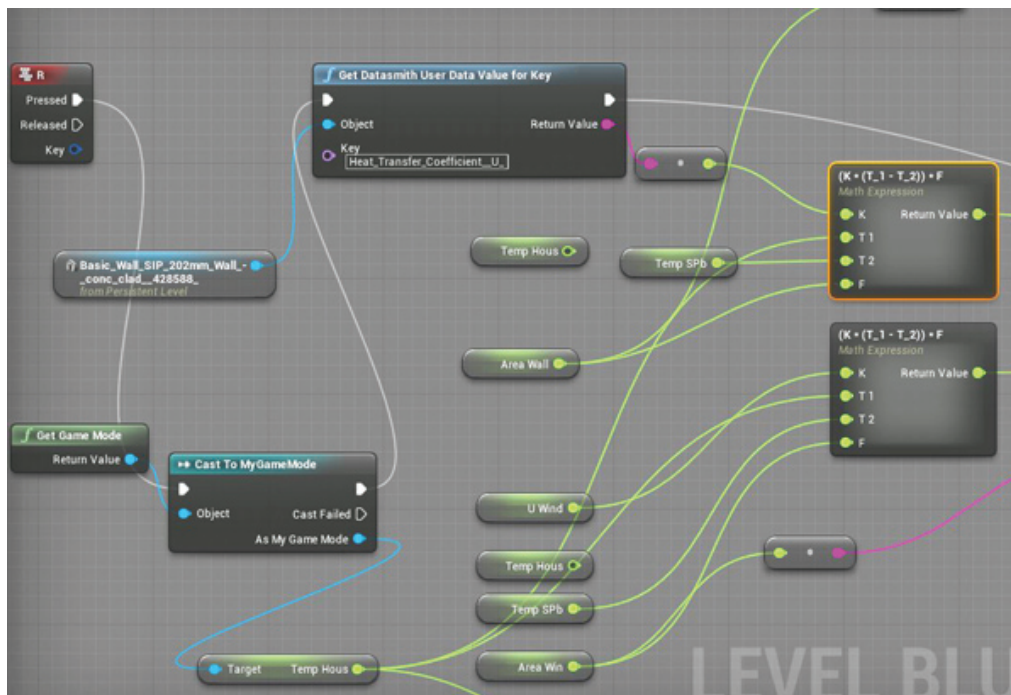


Рис. 6. Прописанная логика в Blueprint

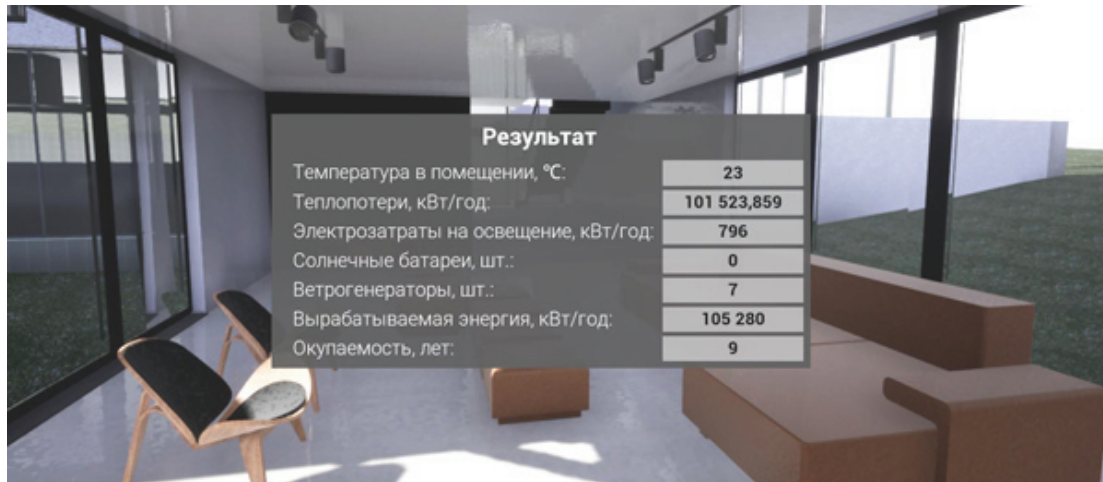
## Результаты

Полученная в работе интерактивная цифровая модель может быть полезна для застройщиков и девелоперов. Такое приложение может существенно увеличить спрос на современные «умные дома», а также повысить интерес покупателей к энергоэффективному жилью. Результаты работы также могут быть полезны в научной и образовательной сфере.

На рис. 7 приведены результаты работы созданного программного продукта, где изображена квартирография всего строительного объекта. Информация по энергоэффективности здания содержится на рис. 8.



Рис. 7. Квартирография строительного объекта



Результат	
Температура в помещении, °С:	23
Теплопотери, кВт/год:	101 523,859
Электрозатраты на освещение, кВт/год:	796
Солнечные батареи, шт.:	0
Ветрогенераторы, шт.:	7
Вырабатываемая энергия, кВт/год:	105 280
Окупаемость, лет:	9

Рис. 8. Информационная таблица энергоэффективности здания

В ходе создания приложения выявилось множество плюсов применения игрового движка Unreal Engine. При экспорте созданной в Revit BIM-модели в другие игровые движки тратится много времени (от нескольких часов до нескольких дней) на преобразование в VR проект. При экспорте теряется вся нужная информационная модель здания, что подразумевает под собой дополнительные затраты времени на программирование и внесение данных вручную. В Unreal Engine такой экспорт занимает несколько минут, при этом атрибуты модели не теряются.

Согласно исследованию американской компании Coldwell Banker Real Estate значительную часть потенциальных покупателей волнует, как будет выглядеть их будущее жилье: 62% покупателей предпочитают продавца недвижимости, предлагающего VR-туры, а 77% покупателей хотели бы иметь возможность просмотреть VR-туры до посещения объекта недвижимости. В России опыт работы строительных компаний с мобильным и полномасштабным VR насчитывает около пяти лет. По данным компании VRARA, почти половина покупателей квартир в России, Украине и Белоруссии (45,2%) подтверждают, что 3D- и VR-контент помогают им принять решение о покупке быстрее, чем только красочный буклет (2D-планировки).

Востребованность VR на строительном рынке подтверждается не только исследованиями маркетинговых и аналитических агентств, но и реальными кейсами строительных организаций.

## Библиография

1. Building Information Modeling / D. McNell, H. Allison, W. Black, M. Cukrow // InfoComm International. – 2014. – P. 26.
2. Шакшак, О.М., Евсиков, И.А. VR-приложение на основе BIM проекта с возможностью управления параметрами энергоэффективности здания / О.М. Шакшак, И.А. Евсиков // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: мат-лы II Междунар. науч.-практ. конф. СПбГАСУ. – СПб, 2019. – С. 189–194.
3. Гагарин, В.Г. Расчёты теплопоступлений в здание от проникающей солнечной радиации за отопительный период. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ: метод. пособие / В.Г. Гагарин. – М., 2017.
4. Revit Live. URL: <https://www.autodesk.com/products/revit-live/overview>; Enscape. – URL: <https://enscape3d.com/>
5. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* (с изменениями № 1, 2). М.: ФГУП ЦПП, 2012. – 113 с.



6. Строительная теплофизика / В.И. Бодров, М.В. Бодров, В.Ф. Бодрова, В.Ю. Кузин. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2015. – 156 с.
7. График работы наружного освещения в Санкт-Петербурге на 2019 год. – URL: [http://www.lensvet.spb.ru/d/26909/d/\\_\\_.pdf](http://www.lensvet.spb.ru/d/26909/d/__.pdf)
8. Тарифы на электроэнергию по Санкт-Петербургу. – URL: [https://www.pes.spb.ru/for\\_customers/electricity\\_tariffs/electricity\\_tariffs\\_for\\_st\\_petersburg/](https://www.pes.spb.ru/for_customers/electricity_tariffs/electricity_tariffs_for_st_petersburg/) .
9. Help Autodesk Revit 2019 Dynamo. – URL: <http://help.autodesk.com>
10. Unreal Engine 4 for Design Visualization: Developing Stunning Interactive Visualizations, Animations and Renderings / ed. T. Shannon. Addison-Wesley Professional, 2017. – 384 p.
11. Шакшак, О.М. Использование виртуальной реальности (VR) как средства архитектурной визуализации / О.М. Шакшак, И.А. Евсиков // Архитектон: известия вузов. – 2018. – № 4 (64). – С. 352–360. – URL: [http://archvuz.ru/2018\\_4/33/](http://archvuz.ru/2018_4/33/)

Дата поступления: 15.11.2019

Лицензия Creative Commons

Это произведение доступно по лицензии Creative Commons «Attribution-ShareAlike» («Атрибуция – На тех же условиях») 4.0 Всемирная.



## MULTIFUNCTIONAL VR APPLICATION BASED ON DIGITAL BUILDING MODEL

**Shakshak Omar M.**

Master's degree student,  
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,  
Russia, St. Petersburg, e-mail: [omar.shakshak@mail.ru](mailto:omar.shakshak@mail.ru)

**Evsikov Igor A.**

Senior Lecturer, Information Technologies,  
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,  
Russia, St. Petersburg, e-mail: [ievsikov@lan.spbgasu.ru](mailto:ievsikov@lan.spbgasu.ru)

### Abstract

*Recently, virtual design and construction (VDC) [1] has been gaining increasing popularity. This approach allows design errors to be identified at early stages and the likelihood of extensive redesign to be significantly reduced. Model elements, which depend on each other, maintain their relationship during changes in any element, while the use of virtual environment enables quick preparation and exchange of visual information. This project was implemented as part of the VDC. It simplifies the exchange of complex ideas and provides more opportunities for a creative approach to interaction with customers resulting in continuing business relationships and excellent references.*

*This article describes additional solutions for a VR application project based on a BIM project with the ability to manage the energy efficiency parameters of a building [2]. The project now has an option enabling detailed information about rooms and lighting sources to be imported from Autodesk Revit and, thus, makes it possible to create high-quality quartography (apartment mix) and evaluate the level of illumination of a building object within the framework of the Unreal Engine.*

### Keywords

*Building Information Modeling (BIM), building energy efficiency, quartography, digital model, VR, VDC, Unreal Engine, real-time rendering*

### References:

1. McNell, D., Allison, H., Black, W., Cukrow, M. (2014) Building Information Modeling. InfoComm International, p. 26.
2. Shakshak, O.M., Evsikov, I.A. (2019) VR application based on a BIM project with the ability to control building energy efficiency parameters. BIM modeling in construction and architecture problems: Proceedings of the 2nd International Conference. Saint Petersburg: Saint Petersburg GASU, pp. 189–194. (in Russian)
3. Gagarin, V.G. (2017) Calculations of heat input into the building from penetrating solar radiation during the heating period. Moscow: Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. (in Russian)
4. Revit Live. Available at: <https://www.autodesk.com/products/revit-live/overview> ; Enscape. Available at: <https://enscape3d.com/> .
5. SP 131.13330.2012 Construction climatology. Updated edition of SNiP 23-01-99 \* (as amended No. 1, 2). Moscow: FSUE TsPP. (in Russian)

6. Bodrov, V.I., Bodrov, M.V., Bodrova, V.F., Kuzin, V.Yu. (2015) Building Thermophysics. Nizhny Novgorod: NNGASU. (in Russian)
7. Schedule of outdoor lighting in St. Petersburg for 2019. Available at: [http://www.lensvet.SaintPetersburg.ru/d/26909/d/\\_\\_.pdf](http://www.lensvet.SaintPetersburg.ru/d/26909/d/__.pdf). (in Russian)
8. Tariffs for electricity in St. Petersburg. Available at: [https://www.pes.SaintPetersburg.ru/for\\_customers/electricity\\_tariffs/electricity\\_tariffs\\_for\\_st\\_petersburg/](https://www.pes.SaintPetersburg.ru/for_customers/electricity_tariffs/electricity_tariffs_for_st_petersburg/). (in Russian)
9. Help Autodesk Revit 2019 Dynamo. Available at: <http://help.autodesk.com> .
10. Shannon, T. (ed.) Unreal Engine 4 for Design Visualization: Developing Stunning Interactive Visualizations, Animations and Renderings. Addison-Wesley Professional.
11. Shakshak, O.M., Evsikov, I.A. (2018) The use of virtual reality (VR) as a means of architectural visualization. Architecton: Proceedings of Higher Education, No. 4 (64), pp. 352–360. (in Russian)