

Оценка энергоэффективности архитектурно-строительных решений начального этапа проектирования в программе Revit Architecture

*Д.т.н., профессор С.А. Болотин,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»;*
*к.т.н., доцент А.И. Гуринов,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»;*
*к.т.н., зав. кафедрой городского строительства А.Х. Дадар,
ФГБОУ ВПО «Тувинский государственный университет»;*
*аспирант З.Х. Оолакай,
ФГБОУ ВПО «Тувинский государственный университет»*

Аннотация. Одним из важнейших требований на сегодняшний день является снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания. Очевидно, что наиболее существенные свойства и параметры создаваемого объекта, определяющие его облик, эксплуатационные характеристики и потребительские качества закладываются на стадии проектирования.

Целью данного исследования является формирование оценочного критерия для различных вариантов реализации проекта на информационной базе начального этапа проектирования. Задачей исследования является разработка методики оценки архитектурно-строительных решений на основе информационной модели здания (BIM), формируемой программой Autodesk Revit Architecture.

В ходе исследований предложены новые компактные решения по оценке инсоляции на вертикальные и горизонтальные поверхности и алгоритм упрощенного расчета тепловых потерь здания, что позволяет при введении соответствующей информации в программу типа Revit Architecture уже на начальных этапах проектирования моделировать виртуальные водный и энергодолговес. Применяя к итоговым величинам тарифы на водоснабжение и электроснабжение данной территории, можно получить виртуальные годовые эксплуатационные доходы или расходы, то есть виртуальный эксплуатационный денежный поток. Для корректного экономического сравнения вариантов концептуального проектирования необходимо учитывать разновременность затрат и доходов путем дисконтирования. Для экспресс-оценки проектных решений разработана модель, позволяющая имитировать календарное планирование строительства объекта, которое необходимо для формирования инвестиционного денежного потока.

Предлагаемая методика позволяет существенно расширить возможности вариантного проектирования, заложенные в программу типа Revit Architecture.

Ключевые слова: энергоэффективность; ресурсосбережение; архитектурно-строительное проектирование; информационная модель здания; оценка проекта

Энергоемкость экономики России вдвое выше, чем мировой в целом, и в три раза выше, чем в странах Евросоюза. На заседании Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России в июне 2009 года проблема энергоэффективности и энергосбережения была названа в числе основных стратегических направлений приоритетного технологического развития.

Для обеспечения реализации этой стратегии разработан и принят целый ряд документов и нормативных актов [1–3], в том числе Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...», который определяет энергосбережение как «реализацию организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования» [1].

Болотин С.А., Гуринов А.И., Дадар А.Х., Оолакай З.Х. Оценка энергоэффективности архитектурно-строительных решений начального этапа проектирования в программе Revit Architecture

Огромными резервами повышения энергоэффективности обладают здания. По статистике, приводимой Советом по экологическому строительству (RuGBC), на их долю приходится до 40% от общей потребляемой в мире первичной энергии, 67% электричества, 40% сырья и 14% запасов питьевой воды [4]. В нашей стране здания ответственны за более чем 25% потенциального энергосбережения, необходимого для достижения важнейшей стратегической задачи – снижения энергоемкости отечественной экономики (ВВП) на 40% к 2020 году [5].

С 1 марта 2013 года вступил в силу ГОСТ Р 54964–2012. Экологические требования к объектам недвижимости в этом документе определены совокупностью следующих базовых категорий [6]:

- экологический менеджмент;
- инфраструктура и качество внешней среды;
- качество архитектуры и планировка объекта;
- комфорт и экология внутренней среды;
- качество санитарной защиты и утилизации отходов;
- рациональное водопользование и регулирование ливнестоков;
- энергосбережение и энергоэффективность;
- охрана окружающей среды при строительстве, эксплуатации и утилизации объекта;
- безопасность жизнедеятельности.

Таким образом, важнейшей задачей в строительстве и сфере ЖКХ является снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания: от выбора участка к проектированию, строительству, эксплуатации, ремонту и ликвидации [7–9].

Наиболее существенные свойства и параметры создаваемого объекта, определяющие его облик, эксплуатационные характеристики и потребительские качества, закладываются на этапе проектирования. В процессе проектирования энергоэффективного здания архитектор решает непростую задачу – как наилучшим образом использовать положительное и максимально нейтрализовать отрицательное воздействие окружающей среды на тепловой баланс здания. Задача инженера – организовать такую систему климатизации здания, которая с наименьшими затратами энергии обеспечит требуемые параметры микроклимата в помещениях [10]. На сегодняшний день в строительной отрасли известно множество направлений энергосбережения. Поскольку все принимаемые решения должны быть осуществимы технически, обоснованы экономически, а также приемлемы с экологической и социальной точек зрения, необходимы методы оценки конкретного энергосберегающего решения.

Во многих зарубежных странах проблемы энергоэффективности в строительстве начали исследовать и решать значительно раньше и под контролем государства, поэтому методы повышения энергоэффективности там детально проработаны. Так, в Канаде для обеспечения реализации правительственной программы стимулирования энергоэффективности еще в конце 90-х годов прошлого столетия были реализованы алгоритмы компьютерного моделирования зданий [11]. Многие исследования для формирования оценок базировались на результатах массовых обследований зданий. В частности, для разработки интегрированных системных решений по модернизации зданий с перспективой 30–50% сокращения потребления энергоресурсов использовалась статистика по 250 тыс. объектов недвижимости Министерства обороны США [12]. Задача оценки архитектурно-строительных и инженерных решений, в том числе их энергоэффективности, в ряде стран решена и даже реализована в новейших программных продуктах, как специализированных (но при этом требуется решить проблему передачи данных из систем САПР [13]), так и интегрированных в САПР на уровне дополнительных возможностей [14]. Однако следует отметить следующие особенности:

- различные инструменты моделирования энергопотребления приводят к различным результатам, что влияет даже на достоверность определения оценок в признанных рейтинговых системах BREEAM и LEED [15];
- разработчики не раскрывают алгоритмы расчетов, и их применение не описывается в научной литературе, следовательно, мы не можем оценить их соответствие нашим нормативным требованиям, а на основании работ [16,17] можно сделать вывод, что такого соответствия нет;
- в России характеристикой энергоэффективности зданий является удельный расход энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период; во многих же странах этот показатель определяет общее удельное потребление энергии, идущей на отопление,

Болотин С.А., Гуринов А.И., Дадар А.Х., Оолакай З.Х. Оценка энергоэффективности архитектурно-строительных решений начального этапа проектирования в программе Revit Architecture

вентиляцию, кондиционирование, горячее водоснабжение, освещение и эксплуатацию общедомового инженерного оборудования;

- организация и стадийность проектирования в нашей стране значительно отличаются от принятых в других странах;
- единицы измерений в предоставляемых программой отчетах, как правило, не соответствуют принятым в нашей стране (метрическим).

Отечественных программных продуктов такого уровня на сегодня нет.

Важность и сложность задачи оценки отмечаются многими отечественными и зарубежными учеными, при этом все большее значение приобретает требование осуществлять такую оценку на ранних стадиях разработки проекта [18–20], которые характеризуются неполнотой информации и требуют моделирования. В работе [21] предлагается «упрощенный универсальный метод оценки вклада широкого спектра энергосберегающих решений в снижение теплотребления конкретного здания на основе использования метода экспертных оценок эффективности энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий». Таким образом, разработанный экспресс-метод ориентирован на оценку инженерных мероприятий и систем, но не архитектурно-строительных решений. В работе [22] для оценки и оптимизации энергоэффективных решений предлагается использовать генетический алгоритм, который требует формализации исходных данных.

Проектирование любого объекта является сложным и ответственным процессом, состоящим из нескольких этапов. Однако эффективность всего процесса проектирования во многом зависит от решений, принимаемых на начальном этапе, который, как будет показано далее, может и должен быть ориентирован на энергоресурсосбережение. Известно, что на раннем (концептуальном) этапе формируется и уточняется основная идея проекта и определяется цель инвестирования, то есть ставится традиционная задача разработки технико-экономического обоснования (ТЭО) инвестиций в строительство объекта по принятому критерию. Но основы будущей энергоэффективности инвестиционно-строительных проектов должны продумываться еще на этапе формирования ТЭО [9]. Считаем очевидным, что заказчик-инвестор должен принимать решение о дальнейшем развитии проекта только по итогам рассмотрения различных вариантов его реализации.

Целью данного исследования является формирование оценочного критерия для различных вариантов реализации проекта на основе информационной базы начального этапа проектирования. Тогда по результатам процедуры оценки заказчик может точнее сформулировать техническое задание на проектирование, в котором будут указаны:

- 1) требования к основным параметрам здания – этажность, площадь, строительный объем и др.;
- 2) основные требования к архитектурно-планировочным и конструктивным решениям, материалам несущих и ограждающих конструкций;
- 3) основные требования к инженерному оборудованию.

Первая группа требований, по сути дела, связана с конфигурацией наружной оболочки здания, которая предопределяет результаты расчетов не только тепловых потерь здания [23], но и нормативной продолжительности строительства проектируемого здания [24, 25]. Вторая группа требований может и должна учитывать возможность утилизации тепла (например, с помощью теплового насоса) и атмосферных осадков (с помощью коллектора).

И, наконец, некоторые требования к инженерному оборудованию не могут быть сформированы должным образом, если на ранней стадии не учесть, например, размещение теплоулавливающих элементов на наружных конструкциях проектируемого здания. Объединение всех перечисленных требований может быть осуществлено на основе конвергенции организационно-технологического и архитектурно-строительного проектирования, ориентированного на энергоресурсосбережение при строительстве и эксплуатации зданий [26].

В настоящее время одной из наиболее перспективных технологий в проектной деятельности является *BIM* – информационное моделирование здания (англ. *Building Information Modeling*) [27]. При использовании этой технологии можно не только создать трехмерную модель здания, но и связать ее с информационной базой данных, где каждый элемент модели характеризуется набором параметров, который при необходимости может быть дополнен пользователем. Не менее значимым преимуществом *BIM*-моделирования является параметризация модели, которая обеспечивает возможность согласованного изменения характеристик объекта во всей

совокупности проектной документации [28]. Применение технологии *BIM* обеспечивает несомненные преимущества и в управлении строительными проектами [29].

Задачей исследования является разработка методики оценки архитектурно-строительных решений для эффективной реализации начального этапа проектирования на основе *BIM*-моделирования. Практическое обоснование предлагаемой методики обеспечивается применением программы *Revit Architecture* (разработчик – компания *Autodesk*), реализующей *BIM*-моделирование, что не исключает применение аналогичных программ других разработчиков, таких как *Bentley Systems* или *Graphisoft*.

Энергетические характеристики будущего объекта во многом определяются его местоположением и ориентацией наружных ограждающих конструкций, которые связаны с соответствующими климатическими условиями. Например, данные строительной климатологии по инсоляции характеризуют распределение потока солнечной энергии по месяцам в зависимости от географической широты и ориентации по сторонам света для вертикальных и горизонтальных поверхностей [30]. Анализ этих данных применительно к поставленной задаче позволил трансформировать их к более адекватному виду. Например, определяя годовое поступление солнечной энергии, мы получили регрессионное выражение, позволяющее рассчитывать инсоляционный поток, падающий на горизонтальную поверхность (например, плоскую крышу проектируемого здания) I_h с погрешностью менее 2% в диапазоне углов Φ от 40 до 65° северной широты по следующей формуле:

$$I_h = 11623 - 105 \cdot \Phi. \quad (1)$$

Анализ инсоляции вертикальных ограждающих конструкций показал, что годовой поток тепла практически не зависит от географической широты расположения здания и с погрешностью менее 6% зависит от ориентации вертикальной поверхности, определяемой углом Ψ , отсчитываемым по часовой стрелке от северного направления, по следующей регрессионной формуле:

$$I_v = 7647 \left[0,5 + \frac{1}{\pi} \operatorname{Arctg} \left(\frac{\Psi - 90}{45} \right) \right] \quad \text{при} \quad 0 < \Psi < 180;$$

$$I_v = 7647 \left[0,5 + \frac{1}{\pi} \operatorname{Arctg} \left(\frac{270 - \Psi}{45} \right) \right] \quad \text{при} \quad \Psi \geq 180. \quad (2)$$

Далее для концептуального этапа проектирования рассмотрим алгоритм упрощенного расчета тепловых потерь, используя при этом актуальную нормативную литературу [31, 32]. Принятая при этом схема расчета тепловых потерь представлена на рисунке 1.

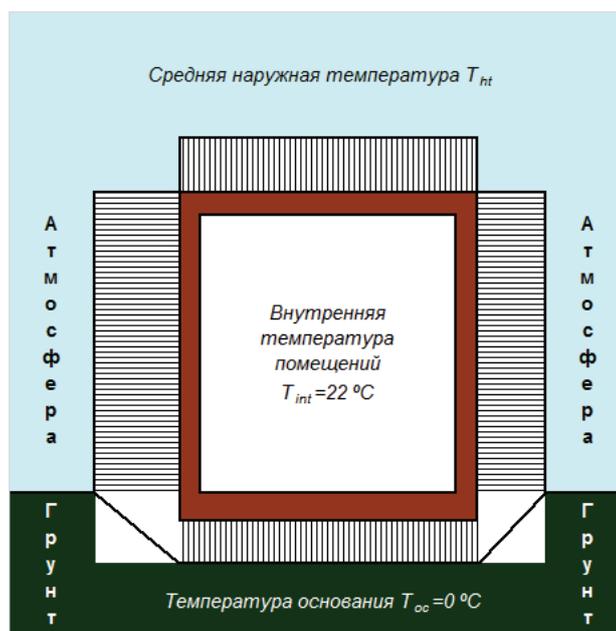


Рисунок 1. Схема для упрощенного расчета тепловых потерь здания

Болотин С.А., Гуринов А.И., Дадар А.Х., Оолакай З.Х. Оценка энергоэффективности архитектурно-строительных решений начального этапа проектирования в программе *Revit Architecture*

Расчетная температура воздуха внутри жилых зданий, лечебно-профилактических и детских учреждений для холодного периода года может быть принята $T_{int} = 22$ °С [32]; продолжительность отопительного периода Z_{ht} и средняя за отопительный период температура T_{hb} , зависящие от местоположения проектируемого здания, – в соответствии с [30]. На основании этих данных рассчитываются так называемые градусо-сутки отопительного периода D_d по формуле:

$$D_d = (T_{int} - T_{hb}) \cdot Z_{ht}. \quad (3)$$

Далее на основе данных таблицы 1 [31] можно определить минимально допустимое сопротивление теплопередаче (термическое сопротивление) ограждающих конструкций по формуле:

$$R_{reg} = a \cdot D_d + b. \quad (4)$$

Таблица 1. Коэффициенты для расчета нормируемых значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Градусо-сутки отопительного периода, °С·сут	Коэффициенты для расчета нормируемых значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций жилых зданий, лечебных и детских учреждений				
	Окна и балконные двери, витрины и витражи	Стены	Покрытия и перекрытия над проездами	Чердачные перекрытия и перекрытия над неотапливаемыми подпольями и подвалами	Фонари с вертикальным остеклением
менее 6000	a = 0,000075 b = 0,15	a = 0,00035	a = 0,0005	a = 0,00045	a = 0,00025
от 6000 до 8000	a = 0,00005 b = 0,3				
свыше 8000	a = 0,000025 b = 0,5	b = 1,4	b = 2,2	b = 1,9	b = 0,25

Часть тепловых потерь связана с необходимостью подогрева наружного воздуха при вентиляции помещений. Соответствующий расчет должен учесть задаваемый архитектором объем здания и принятую им кратность воздухообмена.

При расчете тепловых потерь через подземную часть (см. рисунок) в случае реализации специальных теплотехнических мер, предотвращающих заморозание основания под зданием [33], температуру грунта следует принять равной 0 °С, а ее изменение по высоте рассчитывать по линейному закону.

В ходе проектирования в программе типа *Revit Architecture* создаваемые для ограждающих конструкций спецификации позволяют добавлять так называемые пользовательские столбцы, где возможно размещение необходимой, в том числе для расчета энергетических параметров, информации. В дальнейшем сформированные в программе *Revit Architecture* спецификации могут быть экспортированы в выбранную для окончательного расчета программу, например, *Excel*. На концептуальной стадии может быть реализован и замысел архитектора по включению в конструкцию основания здания теплового насоса, а в конструкцию крыши – коллектора для сбора атмосферных осадков.

Регионы России весьма существенно различаются по климату, ресурсным возможностям (водным и энергетическим), потенциалу альтернативной энергетики (табл. 2). И уже на самых ранних этапах проектирования архитектор может определить, на какие ресурсы с целью их экономии в данном регионе в первую очередь необходимо обратить внимание. Например, для такого города как Якутск, который находится в зоне сурового климата [34], капитальные расходы более целесообразно направить не на теплоулавливание, а на снижение тепловых потерь.

Таблица 2. Сравнительные климатические данные городов РФ

№ п/п	Населенные пункты	Местоположение, °с.ш.	Инсоляция горизонтальной поверхности, I_h , МДж/м ² год	Продолжительность отопительного периода (при средней суточной температуре воздуха менее 8°C), Z_{ht} , сут.	Средняя температура холодного (отопительного) периода, T_{hb} , °C	Градусо-сутки при $T_{int} = 22^\circ\text{C}$, D_d	Количество осадков, мм в год
1	Архангельск	65	4798	253	-4.4	6679	590
2	Астрахань	47	6688	167	-1.2	3874	208
3	Волгоград	49	6478	177	-2.4	4319	386
4	Воронеж	52	6163	196	-3.1	4920	539
5	Казань	56	5743	215	-5.2	5848	508
6	Москва	56	5743	214	-3.1	5371	644
7	Пермь	58	5533	229	-5.9	6389	616
8	Псков	58	5533	212	-1.6	5003	603
9	Ростов-на-Дону	47	6688	171	-0.6	3865	555
10	Санкт-Петербург	60	5323	220	-1.8	5236	620
11	Сочи	44	7003	92	6.4	1435	1954
12	Томск	47	6688	236	-8.4	7174	591
13	Якутск	62	5113	256	-20.6	10906	234
14	Ярославль	57	5638	221	-4	5746	578

В рамках представленной выше методики при введении соответствующей информации в программу типа *Revit Architecture* уже на начальных этапах проектирования появляется возможность моделировать виртуальные водный и энергобаланс. Применяя к итоговым величинам тарифы на водоснабжение и электроснабжение данной территории, можно получить виртуальные годовые эксплуатационные доходы или расходы, то есть виртуальный эксплуатационный денежный поток. В итоге полученные результаты расчета должны дать архитектору, работающему в программной среде *Revit Architecture*, количественные характеристики энергоресурсосберегающего потенциала проектируемой оболочки здания.

В предлагаемом алгоритме оценки предусмотрено, что для окончательного и корректного экономического сравнения вариантов концептуального проектирования необходимо учитывать разновременность затрат и доходов путем дисконтирования [35]. Таким образом, для цели экспресс-оценки проектных решений требуется методика, позволяющая имитировать календарное планирование, необходимое для формирования инвестиционного денежного потока. Основополагающими элементами для календарного планирования строительства являются организационно-технологическая схема возведения строительного объекта [36] и нормы продолжительности строительства [24, 25]. В декабре 2010 г. Министерством регионального развития Правительства РФ приняты новые нормы продолжительности строительства [25], которые, в отличие от старых норм [24], определяют продолжительности только двух периодов строительства – подготовительного и основного. Однако даже для календарного планирования, осуществляемого в составе проекта организации строительства (ПОС), такой детализации, на наш взгляд, явно недостаточно, так как при организационном проектировании необходимо, как минимум, учитывать продолжительности работ нулевого цикла, возведения надземной части здания и внутренних работ. С другой стороны, и количество норм, представленных в новом документе, даже для наиболее представительного класса жилых зданий явно недостаточно. Малое количество норм зачастую дезавуирует рекомендацию данного документа на использование экстраполяционно-интерполяционных процедур, поскольку в некоторых случаях в новых нормах присутствует всего лишь один объект-представитель.

В этом отношении гораздо более представительными являются старые нормы, определенные в СНиП 1.04.03-85* [24], которые, по нашему мнению, как раз и могут послужить статистической основой для рекомендаций по применению экстраполяционно-интерполяционных процедур. Анализируя структуру продолжительностей циклов основных работ, приходим к следующим выводам. Для подготовительного периода всех типов зданий как в старом СНиПе, так и в новом нормативе отводится $T_{под} = 1$ мес. Считаем, что продолжительность работ нулевого Болотин С.А., Гуринов А.И., Дадар А.Х., Оолакай З.Х. Оценка энергоэффективности архитектурно-строительных решений начального этапа проектирования в программе *Revit Architecture*

цикла $T_{нц}$ функционально зависит от общей площади здания F , так как именно она определяет основную нагрузку на его основание и фундамент:

$$T_{нц} = a_{нц} \cdot F + b_{нц}. \quad (5)$$

Аналогичный вид регрессионной зависимости может быть принят и для аппроксимации отделочных работ (отд), объем и продолжительность которых также линейно связаны с общей площадью здания:

$$T_{отд} = a_{отд} \cdot F + b_{отд}. \quad (6)$$

В регрессионной зависимости продолжительности работ по надземной части (НЧ) здания следует дополнительно учитывать его этажность – продолжительности работ по каждому последующему этажу будут возрастать на некоторую постоянную величину по сравнению с предыдущим этажом. Тогда, суммируя добавки по всем этажам и ограничиваясь старшей степенью итогового выражения, принимаем, что общая добавка будет пропорциональна квадрату числа этажей здания (N^2):

$$T_{нч} = a_{нч} \cdot F + b_{нч} + c_{нч} \cdot N^2. \quad (7)$$

По результатам обработки статистических массивов данных по монолитным, кирпичным и панельным зданиям нами получены регрессионные коэффициенты (табл. 3), входящие в формулы (5)–(7).

Таблица 3. Коэффициенты для определения продолжительностей циклов работ, выполняемых при строительстве жилых зданий

Тип здания	Цикл работ	Кoeff. при F (a)	Св. член (b)	Кoeff. при N^2 (c)	Вероятность (P) отклонения продолжительности при $\Delta = 0,5$ мес.
Кирпичное	Нулевой цикл (НЦ)	0,000067	0,885		1,00
	Надземная часть (НЧ)	0,000417	2,622	0,00284	1,00
	Отделка (Отд)	0,000047	1,505		1,00
Монолитное	Нулевой цикл (НЦ)	0,000106	0,570		0,71
	Надземная часть (НЧ)	0,000364	3,041	0,00354	0,77
	Отделка (Отд)	0,000118	0,837		0,85
Панельное	Нулевой цикл (НЦ)	0,000049	0,856		1,00
	Надземная часть (НЧ)	0,000168	2,284	0,00265	0,81
	Отделка (Отд)	0,000049	0,872		0,97
Кирпично-монолитное	Нулевой цикл (НЦ)	0,000093	0,684		(нет стат. данных)
	Надземная часть (НЧ)	0,000384	2,863	0,00340	(нет стат. данных)
	Отделка (Отд)	0,000093	1,101		(нет стат. данных)

В последнем столбце представлена вероятность (P) отклонения продолжительности, рассчитанной по полученным регрессионным уравнениям (5–7), от данных по нормативной статистике. Эта вероятность определена порогом в 0,5 месяца и менее. Она для всех типов зданий превышает 70%.

Для имитации виртуального денежного потока на концептуальной стадии проектирования зданий необходимо иметь информацию о распределении капитальных затрат по циклам работ. Получим ее на основе аналогичной статистической обработки старых норм. Анализ показал, что для четырех периодов строительства все коэффициенты парной корреляции продолжительностей и площадей зданий имеют небольшие значения (менее 0,25). Статистическим анализом также установлены малые величины наклона соответствующих регрессионных кривых (менее чем $3 \cdot 10^{-4}$ мес./м²).

Таким образом, в качестве расчетных значений нами выбраны средние проценты распределения капитальных вложений по всем зданиям, составляющие $C_{под} = 6\%$, $C_{нч} = 12\%$, $C_{нч} = 71\%$ и $C_{отд} = 11\%$. Учитывая, что в нормах продолжительности строительства заложено последовательное выполнение работ и считая, что оплата работ по каждому из четырех циклов будет проводиться после их завершения, получаем формулу расчета дисконтированных инвестиций NPV_{in} :

$$NPV_{in} = C_F \cdot F \cdot \left[C_{под} \cdot \alpha^{-T_{под}} + C_{нч} \cdot \alpha^{-(T_{под}+T_{нч})} + C_{нч} \cdot \alpha^{(T_{отд}-T_{нч})} + C_{отд} \cdot \alpha^{-T_{нч}} \right], \quad (8)$$

где $T_{н}$ – общая нормативная продолжительность строительства;
 $\alpha = (1 + E)$, где E – норма дисконта, принимаемая заказчиком;
 C_F – планируемая стоимость квадратного метра возводимого здания.

Дисконтирование годового денежного потока операционного периода W_{op} , связанного со стоимостью рассчитанных ранее энергетических и материальных ресурсов, может быть сведено к бесконечному аннуитету [37], образуемому после окончания строительства, которое определяется соответствующей нормой продолжительности $T_{н}$:

$$NPV_{op} = (W_{op} / E) \cdot \alpha^{-T_{н}}, \quad (9)$$

Тогда итоговое значение чистого дисконтированного денежного потока, связанного с организационно-технологическими и энергоресурсосберегающими характеристиками концептуального этапа архитектурно-строительного проектирования, должно быть рассчитано по формуле:

$$NPV = NPV_{op} - NPV_{in}. \quad (10)$$

Предлагаемая методика позволяет существенно расширить возможности вариантного проектирования, заложенные в программы типа *Revit Architecture* [38]. Создаваемая в процессе архитектурно-строительного проектирования информационная модель здания в сочетании с разработанной авторами методикой расчета эксплуатационных характеристик может быть использована для оценки и анализа различных показателей энергоэффективности и ресурсосбережения уже на самой ранней – концептуальной – стадии проектирования. Принятие окончательного оценочного решения по выбору конкретного проектного варианта в условиях некоторой неопределенности исходных параметров может быть подкреплено анализом чувствительности.

В рамках внедрения национальной системы сертификации важная роль в обеспечении выполнения экологических требований отводится оптимизации проектных решений, в том числе путем моделирования и вариантного анализа экоустойчивости, теплофизических и энергетических свойств объекта недвижимости, оптимизации стоимости его жизненного цикла [6]. Рассмотренная методика отвечает современным требованиям и способствует решению поставленных задач буквально с первых шагов разработки проекта.

Литература

1. Федеральный закон №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009 г.
2. Распоряжение Правительства РФ от 01.12.2009 N 1830-р «Об утверждении плана мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в Российской Федерации».
3. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Утв. Распоряжением Правительства РФ от 27 декабря 2010 г. N 2446-р.
4. Совет по экологическому строительству [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rugbc.org/> (дата обращения: 16.12.2013).

5. Медиаресурс EcoRussia.info [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ecorussia.info/ru/ecopedia/green-building-review> (дата обращения: 16.12.2013).
6. ГОСТ Р 54964-2012. Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости.
7. Энергосбережение на стадии проектирования и строительства объектов: научно-практическая конференция, Санкт-Петербург, 31.03.2010 [Электронный ресурс]. URL: <http://souz.conon.ru/g/p/4619.php> (дата обращения: 16.12.2013).
8. Вопросы энергоэффективности в проектировании, строительстве и эксплуатации зданий: конференция в рамках деловой программы Международного строительного форума «Балтийская строительная неделя» от 12.09.13 [Электронный ресурс]. URL: <http://stroy-profi.info/news/413> (дата обращения: 16.12.2013).
9. Запланированная экономия. Энергосбережение начинается с проекта (обзор, мнения) // Строительство и городское хозяйство в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. 2011. №126. С. 68–69.
10. Табунщиков Ю.А. Энергоэффективное здание – синтез архитектуры и технологии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ecoteco.ru/id565/> (дата обращения: 16.12.2013).
11. Beausoleil-Morrison I., Calla R. [et al]. Using building simulation to support an energy efficient programme [Электронный ресурс] // Seventh International IBPSA Conference. Rio de Janeiro, Brazil, August 13–15, 2001. URL: http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive/IBPSA/UFSC498.pdf (дата обращения: 16.12.2013).
12. Surana A., Taylor R.D., Narayanan S., Otto K. Rapid Assessment of Deep Retrofit System Solutions to Improve Energy Efficiency in DoD Installations and Buildings [Электронный ресурс] // International High Performance Buildings Conference. 2012. Paper 97. URL: <http://docs.lib.purdue.edu/ihpbc/97> (дата обращения: 16.12.2013).
13. Ahn K.-U., Kim Y.-J., Park C.-S., Kim I., Lee K. BIM interface for full vs. semi-automated building energy simulation // Energy and Buildings. 2014. Vol. 68. Part B. Pp. 671–678.
14. Carlos J.S., Nepomuceno M.C.S. A simple methodology to predict heating load at an early design stage of dwellings // Energy and Buildings. 2012. Vol. 55. Pp. 198–207.
15. Schwartz Y., Raslan R. Variations in results of building energy simulation tools, and their impact on BREEAM and LEED ratings: A case study // Energy and Buildings. 2013. Vol. 62. Pp. 350–359.
16. Горшков А.С., Соколов Н.А. Несоответствие российских и международных стандартов при определении расчетных значений теплопроводности строительных материалов и изделий // Инженерно-строительный журнал. 2013. №7(42). С. 7–14.
17. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8(34). С. 4–14.
18. Vasco Granadeiro, José P. Duarte, João R. Correia, Vítor M.S. Leal. Building envelope shape design in early stages of the design process: Integrating architectural design systems and energy simulation // Automation in Construction. 2013. Vol. 32. Pp. 196–209.
19. Iddon C.R., Firth S.K. Embodied and operational energy for new-build housing: A case study of construction methods in the UK // Energy and Buildings. 2013. Vol. 67. Pp. 479–488.
20. Hemsath T.L. Conceptual energy modeling for architecture, planning and design: Impact of using building performance simulation in early design stages // Proceedings of BS 2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association. 2013. Pp. 376–384.
21. Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В., Миллер Ю.В. Методы и результаты оценки эффективности энергосберегающих решений // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). 2013. №7. С. 38–44.
22. Pornkrisadanuphan Supatcharawadee, Chaiwiwatworakul Pipat. A Genetic Algorithm-Based Approach Design for Energy-Efficient Building in Thailand // 2011 International Conference on Environment Science and Engineering IPCBEE. Vol. 8. Singapore: IACSIT Press, 2011. Pp. 91–95.
23. Булгаков С.Н. [и др.] Теория здания. Здание-оболочка. М.: АСВ, 2007. 22 с.
24. СНиП 1.04.03-85. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений.
25. Нормативы продолжительности строительства / Утверждены приказом Министерства регионального развития РФ от 21 декабря 2010 г. № 746.

26. Болотин С.А., Дадар А.Х. Конвергенция организационно-технологического и архитектурно-строительного проектирования, ориентированного на энергоресурсосбережение при строительстве и эксплуатации зданий. СПб.: СПбГАСУ, 2011. 200 с.
27. Криницкий Е.В. Информационная модель здания (BIM) // Инженерно-строительный журнал. 2010. №2. С. 16–18.
28. Талапов В.В. Информационное моделирование зданий – современное понимание // CADmaster. 2010. №4. С. 114–121.
29. Bryde D., Broquetas M., Volm J.M. The project benefits of Building Information Modelling (BIM) // International Journal of Project Management. 2013. Vol. 31. Issue 7. Pp. 971–980.
30. СП 131.13330.2011 (СНиП 23-01-99). Строительная климатология.
31. СП 50.13330.2012 (СНиП 23-02-2003). Тепловая защита зданий.
32. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий.
33. СП 22.13330.2011 (СНиП 2.02.01-83*). Основания зданий и сооружений.
34. Климов С.Э. Методология календарного планирования строительного производства в суровых условиях Крайнего Севера. СПб.: СПбГАСУ, 2005. 168 с.
35. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. М.: Экономика, 2000.
36. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию: постановление Правительства РФ от 16.02.2008 №87.
37. Ли Ч.Ф., Финнерти Д.И. Финансы корпораций: теория, методы и практика / Пер. с англ. М.: ИНФРА-М, 2000. 686 с.
38. Autodesk Revit Architecture 2012. Официальный учебный курс / Пер. с англ. В. Талапов. М.: ДМК Пресс, 2012. 312 с.

*Сергей Алексеевич Болотин, Санкт-Петербург, Россия
Тел. раб.: +7(812)316-22-79; эл. почта: sbolotin@mail.ru*

*Анатолий Иванович Гуринов, Санкт-Петербург, Россия
Тел. раб.: +7(812)316-22-79; эл. почта: aigurinov@mail.ru*

*Алдын-кыс Хунаевна Дадар, г. Кызыл, Республика Тыва, Россия
Тел. раб.: +7(394)222-73-68; эл. почта: daryi@mail.ru*

*Зита Хулер-ооловна Оолакай, г. Кызыл, Республика Тыва, Россия
Тел. раб.: +7(394)222-73-68; эл. почта: zita-hertek@mail.ru*

© Болотин С. А., Гуринов А. И., Дадар А. Х., Оолакай З. Х., 2013

doi: 10.5862/MCE.43.9

An energy efficiency evaluation of architectural and construction solutions of an initial design stage in Autodesk REVIT Architecture

S.A. Bolotin*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia
+7(812)316-22-79; e-mail: sbolotin@mail.ru***A.I. Gurinov***Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia
+7(812)316-22-79; e-mail: aigurinov@mail.ru***A.Kh. Dadar***Tuvan State University, Tyva Republic, Russia
+7(394)222-73-68; e-mail: daryi@mail.ru***Z.H. Oolakay***Tuvan State University, Tyva Republic, Russia
+7(394)222-73-68; e-mail: zita-hertek@mail.ru*

Key words

energy efficiency; resource saving; architectural and structural design; Building Information Model; project evaluation

Abstract

The aim of this study was to develop evaluation criteria for the various options of the project on the basis of information of the initial design phase.

Objective of the study was to develop a methodology for assessing the architectural decisions on the basis of the building information model (BIM), formed by the program Autodesk Revit Architecture. The study suggested new compact solutions for evaluating insolation on vertical and horizontal surfaces and simplified algorithm for calculating the heat loss of the building, allowing the introduction of the relevant information in a program like Revit Architecture to simulate virtual water and energy balance at the early stages of design. Applying the final value tariffs for water and electricity supply of the area, you can get a virtual operating cash flow. For correct economic comparison of conceptual design options you should take into account time differences in costs and revenues by discounting. For rapid assessment of design solutions a model that allows you to simulate the scheduling of the facility necessary for the formation of the investment cash flow was developed.

The proposed method can significantly improve the ability of the variant design incorporated into the program such as Revit Architecture.

References

1. *Federalnyy zakon №261–FZ «Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v otdelnyye zakonodatelnyye akty Rossiyskoy Federatsii» ot 23 noyabrya 2009 g.* [Federal Law № 261- FZ "On energy saving and energy efficiency improvements and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation" dated November 23, 2009]. (rus)
2. *Rasporyazheniye Pravitelstva RF ot 01.12.2009 N 1830-r «Ob utverzhdenii plana meropriyatiy po energosberezheniyu i povysheniyu energeticheskoy effektivnosti v Rossiyskoy Federatsii»* [Order of the Government of the Russian Federation of 01.12.2009 N 1830- p. "On approval of the plan of energy conservation and energy efficiency in the Russian Federation"]. (rus)
3. *Gosudarstvennaya programma Rossiyskoy Federatsii «Energosberezheniye i povysheniye energeticheskoy effektivnosti na period do 2020 goda».* *Utv. Rasporyazheniyem Pravitelstva RF ot 27 dekabrya 2010 g. N 2446-r.* [The State Program of the Russian Federation "Energy saving and energy efficiency for the period up to 2020". Approved by Decree of the Government of the Russian Federation of December 27, 2010 N 2446- p]. (rus)
4. *Sovet po ekologicheskomu stroitelstvu* [Russian Green Building Council (RuGBC)]. [Online resource]. URL: <http://www.rugbc.org/> (accessed: December 16, 2013). (rus)
5. *Media resource EcoRussia.info* [Online resource]. URL: <http://www.ecorussia.info/ru/ecopedia/green-building-review> (accessed: December 16, 2013). (rus)

Bolotin S.A., Gurinov A.I., Dadar A.Kh., Oolakay Z.H. An energy efficiency evaluation of architectural and construction solutions of an initial design stage in Autodesk REVIT Architecture

6. GOST R 54964-2012. *Otsenka sootvetstviya. Ekologicheskiye trebovaniya k obyektam nedvizhimosti.* [Conformity assessment. Ecological requirements for estate properties]. (rus)
7. *Energoberezheniye na stadii proyektirovaniya i stroitelstva obyektov: nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Energy conservation at the stage of design and construction: the scientific and practical conference]. Saint-Petersburg, 31.03.2010. URL: <http://souz.conon.ru/g/p/4619.php> (accessed: December 16, 2013) (rus)
8. *Voprosy energoeffektivnosti v proyektirovanii, stroitelstve i ekspluatatsii zdaniy: konferentsiya v ramkakh delovoy programmy Mezhdunarodnogo stroitel'nogo foruma «Baltiyskaya stroitel'naya nedelya» ot 12.09.13* [Energy efficiency in the design, construction and operation of buildings: the conference in the business program of the International Construction Forum "Baltic Building Week" from 09/12/13]. URL: <http://stroy-profi.info/news/413> (accessed: December 16, 2013). (rus)
9. *Stroitelstvo i gorodskoye khozyaystvo.* 2011. No.126. Pp. 68–69. (rus)
10. Tabunshchikov Yu.A. *Energoeffektivnoye zdaniye – sintez arkhitektury i tekhnologii* [Energy-efficient building – the fusion of architecture and technology]. [Online resource]. URL: <http://www.ecoteco.ru/id565> (accessed: December 16, 2013). (rus)
11. Beausoleil-Morrison I., Calla R. [et al]. Using building simulation to support an energy efficient programme. *Seventh International IBPSA Conference.* Rio de Janeiro, Brazil, August 13–15, 2001. URL: http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive/IBPSA/UFSC498.pdf (accessed: December 16, 2013).
12. Surana A., Taylor R.D., Narayanan S., Otto K. *Rapid Assessment of Deep Retrofit System Solutions to Improve Energy Efficiency in DoD Installations and Buildings* [Online resource]. International High Performance Buildings Conference. 2012. Paper 97. URL: <http://docs.lib.purdue.edu/ihpbc/97>. (accessed: December 16, 2013).
13. Ahn K.-U., Kim Y.-J., Park C.-S., Kim, I., Lee K. BIM interface for full vs. semi-automated building energy simulation. *Energy and Buildings.* 2014. Vol. 68. Part B. Pp. 671–678.
14. Carlos J.S., Nepomuceno M.C.S. A simple methodology to predict heating load at an early design stage of dwellings. *Energy and Buildings.* 2012. Vol. 55. Pp. 198–207.
15. Schwartz Y., Raslan R. Variations in results of building energy simulation tools, and their impact on BREEAM and LEED ratings: A case study. *Energy and Buildings.* 2013. Vol. 62. Pp. 350–359.
16. Gorshkov A.S., Sokolov N.A. *Magazine of Civil Engineering.* 2013. No.7(42). Pp. 7–14. (rus)
17. Vatin N.I., Nemov D.V., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. *Magazine of Civil Engineering.* 2012. No.8(34). Pp. 4–14. (rus)
18. Granadeiro V., Duarte J.P., Correia J.R., Leal V.M.S. Building envelope shape design in early stages of the design process: Integrating architectural design systems and energy simulation. *Automation in Construction.* 2013. Vol. 32. Pp. 196–209.
19. Iddon C.R., Firth S.K. Embodied and operational energy for new-build housing: A case study of construction methods in the UK. *Energy and Buildings.* 2013. Vol. 67. Pp. 479–488.
20. Hemsath T.L. Conceptual energy modeling for architecture, planning and design: Impact of using building performance simulation in early design stages. *Proceedings of BS 2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association.* 2013. Pp. 376–384.
21. Tabunshchikov Yu.A., Shilkin N.V., Miller Yu.V. *AVOK.* 2013. No.7. Pp. 38–44. (rus)
22. Pornkrisadanuphan Supatcharawadee, Chaiwiwatworakul Pipat. A Genetic Algorithm-Based Approach Design for Energy-Efficient Building in Thailand. *2011 International Conference on Environment Science and Engineering IPCBEE.* Vol.8. Singapore: IACSIT Press, 2011. Pp. 91–95.
23. Bulgakov S.N. [et al]. *Teoriya zdaniya. Zdaniye-obolochka* [Theory of structure. Building envelope]. Moscow: ASV, 2007. 22 p. (rus)
24. *SNIp 1.04.03-85. Normy prodolzhitelnosti stroitelstva i zadela v stroitelstve predpriyatiy, zdaniy i sooruzheniy.* [Building code 1.04.03-85. Norms and duration of construction backlog in the construction of facilities, buildings and structures]. (rus)
25. *Normativy prodolzhitelnosti stroitelstva / Utverzhdeny prikazom Ministerstva regionalnogo razvitiya RF ot 21 dekabrya 2010 g. № 746* [Norms of duration of construction / approved by the Ministry of Regional Development of the Russian Federation of December 21, 2010 № 746]. (rus)
26. Bolotin S.A., Dadar A.Kh. *Konvergentsiya organizatsionno-tekhnologicheskogo i arkhitekturno-stroitel'nogo proyektirovaniya, oriyentirovannogo na energoresursosberezheniye pri stroitelstve i ekspluatatsii zdaniy* [The convergence of organizational and technological and architectural design, based

- on energy and resource saving in the construction and operation of buildings]. Saint-Petersburg: SPbSUACE, 2011. 200 p. (rus)
27. Krinitsky Ye.V. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No.2. Pp. 16–18. (rus)
28. Talapov V.V. *CADmaster*. 2010. No.4. Pp. 114–121. (rus)
29. Bryde D., Broquetas M., Volm J.M. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*. 2013. Vol. 31. Issue 7. Pp. 971–980.
30. *SP 131.13330.2011 (SNIIP 23-01-99). Stroitel'naya klimatologiya* [Set of rules 131.13330.2011. Building code 23-01-99. Building Climatology]. (rus)
31. *SP 50.13330.2012 (SNIIP 23-02-2003). Teplovaya zashchita zdaniy* [Set of rules 50.13330.2012 (Building code 23-02-2003). Thermal protection of the buildings]. (rus)
32. *SP 23-101-2004. Proyektirovaniye teplovoy zashchity zdaniy* [Set of rules 23-101-2004. Design of thermal protection of buildings]. (rus)
33. *SP 22.13330.2011 (SNIIP 2.02.01-83*) Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy* [Set of rules 22.13330.2011 (Building code 2.02.01-83*). Soil bases of buildings and structures]. (rus)
34. Klimov S.E. *Metodologiya kalendarnogo planirovaniya stroitel'nogo proizvodstva v surovyykh usloviyakh Kraynego Severa* [Methodology scheduling construction operations in the harsh conditions of the Far North]. Saint-Petersburg: SPbSUACE, 2005. 168 p. (rus)
35. *Metodicheskkiye rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proyektov i ikh otboru dlya finansirovaniya* [Guidelines for evaluating the effectiveness of investment projects and their selection for funding]. Moscow: Economics, 2000. (rus)
36. *O sostave razdelov proyektnoy dokumentatsii i trebovaniyakh k ikh sodержaniyu: postanovleniye Pravitelstva RF ot 16.02.2008 №87* [On the sections of the design documentation and content requirements. Russian Federation Government Resolution № 87 of the 16.02.2008]. (rus)
37. Ly Ch.F., Finnerty D. *Finansy korporatsiy: teoriya, metody i praktika* [Business Finance: Theory, Methods and Practice]. Translated from English. Moscow: INFRA -M, 2000. 686 p. (rus)
38. *Autodesk Revit Architecture 2012. Ofitsialnyy uchebnyy kurs* [Autodesk Revit Architecture 2012. Official training course]. Translated from English by V. Talapov. Moscow: DMK Press, 2012. 312 p. (rus)

Full text of this article in English: pp. 64–73