

УДК 519.688

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

Шелехов И.Ю., Шелехова А.И., Лоскутов А.И., Непомнящих А.В.

*ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,  
Иркутск, e-mail: sheleh.ananas@yandex.ru*

Целью исследования является выбор необходимых программных средств для оценки энергоэффективности зданий и сооружений различного назначения. Одним из важных факторов при эксплуатации здания является его энергоэффективность. На стадии проведения проектных работ, связанных как с новым строительством, так и с капитальным ремонтом зданий, необходимо оценить теплотери здания в зависимости от применяемых строительных материалов и от способа эксплуатации здания. На начальном этапе можно смоделировать не только сам теплотехнический процесс, но и оценить целесообразность применения различных технических решений и использование каких-либо строительных материалов. Для данной оценки используются различные программные средства. В данной работе авторы рассматривают три наиболее популярных программных комплекса для оценки энергоэффективности зданий: EnergyPlus, eQuest и OpenStudio. Авторы провели сравнительный анализ их функциональных возможностей, преимуществ и недостатков. Исследование включало моделирование различных типов зданий с использованием указанных программ, анализ точности расчетов, простоты использования и возможности интеграции с другими инструментами проектирования. В заключение сформулированы рекомендации по выбору наиболее подходящего программного комплекса в зависимости от конкретных задач пользователя.

**Ключевые слова:** энергоэффективность зданий, EnergyPlus, eQuest, OpenStudio, HVAC, расчет теплотерь, моделирование энергопотребления, теплотехнический анализ

## RESEARCH AND ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF EXISTING SOFTWARE SUITES FOR SOLVING THE TASK OF BUILDING ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT

Shelekhov I.Yu., Shelekhova A.I., Loskutov A.I., Nepomnyashikh A.V.

*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: sheleh.ananas@yandex.ru*

The aim of the study is to select the necessary software for assessing the energy efficiency of buildings and structures for various purposes. One of the important factors in the operation of a building is its energy efficiency. At the stage of design work related to both new construction and major repairs of buildings, it is necessary to assess the heat loss of the building depending on the building materials used and the method of operating the building. At the initial stage, it is possible to model not only the heat engineering process itself, but also to assess the feasibility of using various technical solutions and the use of any building materials. Various software tools are used for this assessment. In this paper, the authors consider three of the most popular software packages for assessing the energy efficiency of buildings: EnergyPlus, eQuest and OpenStudio. The authors conducted a comparative analysis of their functionality, advantages and disadvantages. The study included modeling various types of buildings using these programs, analyzing the accuracy of calculations, ease of use and the possibility of integration with other design tools. In conclusion, recommendations are formulated for choosing the most suitable software package depending on the specific tasks of the user.

**Keywords:** building energy efficiency, EnergyPlus, eQuest, OpenStudio, energy modeling, HVAC, heat loss calculation, thermal analysis

### Введение

В последние десятилетия энергоэффективность зданий приобрела особую значимость в контексте глобальных экологических проблем и стремления к устойчивому развитию. С инженерной точки зрения энергоэффективность здания определяется его способностью потреблять минимальное количество энергии при сохранении комфортных условий для пользователей. Этот показатель напрямую зависит от климатической зоны, в которой располагается здание, и от того, насколько эффективно

используются энергоресурсы на всех этапах эксплуатации. В связи с этим для обеспечения соответствия здания нормативам энергоэффективности и снижения энергетических затрат активно применяются различные методы оценки и моделирования энергопотребления [1].

Исследования ученых показывают, что энергетические потери здания составляют около 70% и в основном это тепловые потери здания, которые происходят из-за несовершенства ограждающих конструкций и неэффективности применяемого обо-

рудования. Чтобы устранить эти энергетические потери, необходимо знать, как эти потери происходят и какие мероприятия необходимо осуществить, чтобы их снизить, при этом немаловажным фактором является стоимость этих мероприятий, срок их окупаемости и срок эффективности этих мероприятий [2].

Все проводимые мероприятия должны осуществляться без снижения уровня комфорта внутри помещений, они не должны оказывать негативного влияния на окружающую среду и, самое главное, должен быть проведен сравнительный анализ. Любая процедура по обеспечению энергоэффективности условно должна разделяться на этапы: что было, что сделали и что получили. А в дополнение должен осуществляться анализ финансовых затрат на модернизацию, на поддержание в надлежащем порядке этих мероприятий и срок, в течение которого эффект будет наблюдаться.

Для разработки мероприятий по снижению энергетических потерь необходимо регулярно проводить энергоаудит, при этом необходимо знать нормированные требования, предъявляемые к оборудованию и к ограждающим конструкциям, чтобы выявить брак, износ, старение или неправильное функционирование.

Одним из наиболее эффективных инструментов для выполнения таких задач являются программные комплексы для оценки энергоэффективности зданий. В условиях повышения интереса к устойчивому строительству и необходимости уменьшения воздействия на окружающую среду такие программы играют ключевую роль в процессе проектирования и эксплуатации зданий. Они не только помогают архитекторам и инженерам анализировать потребление энергии, но и предлагают оптимизационные решения, которые способствуют повышению энергоэффективности и уменьшению эксплуатационных расходов [3].

Движение в этом направлении только началось, государство начало субсидировать данные программы, понимая, что данные инвестиции окупаются не быстро, но они способствуют освобождению энергетических ресурсов, соответственно, способствуют экономическому развитию страны. В соответствии с действующим законодательством все мероприятия, проводимые в здании, должны способствовать снижению энергетических затрат и это должно подтверждаться документально. С развитием информационных технологий данные мероприятия должны осуществ-

ляться с привлечением различных программных комплексов [4].

**Цель исследования** – изучение и анализ применимости существующих программных комплексов, таких как EnergyPlus, eQuest и OpenStudio, для решения задачи оценки энергоэффективности зданий.

#### **Материалы и методы исследования**

В рамках этого исследования был проведен сравнительный анализ этих программных продуктов, их функциональных возможностей, преимуществ и недостатков, это поможет выявить наиболее подходящий инструмент для использования в проектировании и эксплуатации зданий. Понимание их особенностей и правильный выбор программного обеспечения является важным шагом на пути к созданию более энергоэффективных, устойчивых и экономичных зданий.

Исследование проводилось в несколько этапов:

1. Анализ функциональных возможностей программных комплексов. Изучены основные технические характеристики EnergyPlus, eQuest и OpenStudio, включая поддержку климатических данных, алгоритмы расчета теплотерь и гибкость моделирования систем HVAC.

2. Создание тестовых моделей зданий. Разработаны три модели зданий: офисного, жилого и промышленного типа. Для каждой модели были заданы различные конструкционные параметры, включая материалы стен, оконные конструкции, системы отопления и вентиляции.

3. Расчет и анализ энергопотребления. Проведены расчеты энергопотребления для всех моделей зданий с учетом климатических условий региона. Сравнивались показатели годового энергопотребления, потери через ограждающие конструкции и эффективность систем отопления.

4. Сопоставление с реальными данными эксплуатации. Для проверки точности расчетов использовались данные реальных зданий, полученные из научных источников. Автор статьи «Оценка энергоэффективности с учетом влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплотери здания» [5] разработал методику оценки энергоэффективности зданий, основанную на влиянии краевых зон ограждающих конструкций на теплотери здания.

5. Оценка удобства использования. Анализировалась сложность освоения программ, доступность документации, возможность автоматизации расчетов и интеграции с другими инструментами.

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

*Программные комплексы для оценки  
энергоэффективности зданий*

**1. EnergyPlus**

EnergyPlus является мощным инструментом для моделирования энергопотребления зданий, разработанным Национальной лабораторией энергетических технологий (NREL) и Департаментом энергии США. Он позволяет анализировать работу систем HVAC, освещения, внутренних и внешних нагрузок.

Основные возможности:

- Поддержка сложных расчетов энергопотребления с учетом климатических данных.
- Расширенные возможности моделирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC).
- Открытая архитектура с возможностью расширения функционала.
- Интеграция с BIM и CAD-системами.

Пример расчета энергопотребления офисного здания

Рассмотрим здание офисного типа площадью 5000 м<sup>2</sup>, расположенное в средней климатической зоне. Цель – оценить ежегодное энергопотребление для отопления, вентиляции, кондиционирования (HVAC), освещения и оборудования.

Сначала в EnergyPlus создается модель здания с указанием его геометрии, характеристик ограждающих конструкций, окон, а также систем HVAC и освещения. Затем задаются климатические условия и типичные рабочие параметры.

После запуска расчета EnergyPlus симулирует энергопотребление в течение года и предоставляет детальные данные по каждой системе. Например:

- Отопление: 200 MWh в год.
- Вентиляция и кондиционирование: 300 MWh в год.
- Освещение: 150 MWh в год.
- Оборудование: 100 MWh в год.

Таким образом, анализ позволяет определить влияние различных систем на общее энергопотребление здания и выявить потенциальные пути повышения его энергоэффективности, что помогает архитекторам, инженерам и дизайнерам принимать обоснованные решения при проектировании и реновации зданий.

Программа EnergyPlus является мощным и гибким инструментом для моделирования энергопотребления зданий, который позволяет архитекторам, инженерам и дизайнерам проводить детальный анализ и оптимизацию энергоэффективности зданий

на различных этапах проектирования и эксплуатации. Ее высокая точность, расширяемость и широкий спектр возможностей делают ее одним из наиболее востребованных инструментов в области энергетического моделирования зданий [6].

В ходе исследования EnergyPlus использовался для анализа жилого и офисного зданий. Результаты показали, что программа предоставляет высокоточную оценку теплопотерь и энергопотребления, однако требует высокой квалификации пользователя.

**2. eQuest**

eQuest – бесплатный программный комплекс для анализа энергопотребления зданий, созданный на основе DOE-2. Основное его преимущество – простота освоения.

Основные возможности:

- Доступный графический интерфейс.
- Детализированное моделирование систем HVAC.
- Поддержка анализа жизненного цикла здания.
- Оптимизированная система отчетности.

Пример расчета энергопотребления в eQuest.

Рассмотрим офисное здание площадью 3000 м<sup>2</sup>, расположенное в городе с умеренным климатом. Здание имеет стандартные ограждающие конструкции, среднюю изоляцию и обычные окна. В нем установлена стандартная система HVAC с вентиляцией и кондиционированием воздуха, а также стандартное освещение и оборудование [7].

После создания модели здания в eQuest и ввода всех данных запускается расчет, который учитывает климатические условия и характеристики системы. Результаты могут быть следующими:

- Годовое потребление энергии для отопления: 210 MWh.
- Годовое потребление энергии для вентиляции и кондиционирования: 200 MWh.
- Годовое потребление энергии для освещения: 100 MWh.
- Годовое потребление энергии для оборудования: 100 MWh.

Этот расчет позволяет оценить вклад каждой системы в общее энергопотребление здания и выявить области для повышения энергоэффективности.

Программа eQuest продолжает оставаться одним из основных инструментов в арсенале профессионалов в области энергетического моделирования зданий благодаря своей простоте использования, гибкости и мощным возможностям анализа. Ее активно используют архитекторы, инженеры и консультанты по энергосбережению для реализации проектов с высокими стандартами энергоэффективности и устойчивости [8].

Исследования, проведенные в eQuest, показали некоторые расхождения с расчетом, сделанным ручным способом и с помощью программы EnergyPlus. По нашему мнению, целесообразней использовать данную программу для предварительных расчетов по оценке энергоэффективности зданий.

### 3. OpenStudio

Следующим по популярности использования является программный комплекс OpenStudio. Благодаря использованию в качестве расчетного ядра программы EnergyPlus, OpenStudio является очень удобным инструментом для оценки энергоэффективности зданий с большими возможностями. Данный комплекс широко используется компаниями, которые профессионально занимаются данной тематикой [9].

Основные возможности:

- Возможность работы с другими платформами.
- Расширенные функции по моделированию.
- Детализированное моделирование систем HVAC.
- Возможность проводить экономическую эффективность.
- Не требует профессиональных навыков для использования.

С помощью данного программного комплекса можно создать модель исследуемого здания и смоделировать все технологические процессы, влияющие на энергоэффективность. В программном комплексе можно моделировать процесс по установке нового технологического оборудования с одновременной оценкой эффективности его работы и целесообразности проведения данных мероприятий. Например, можно оценить целесообразность применения различных утепляющих материалов и сопоставить их срок службы, трудозатраты, стоимость и теплоизоляционные свойства. Можно оценить изменение внутренних параметров микроклимата в зависимости от типа применяемого утеплителя при установке окон, в дополнение можно создать визуальную модель и оценить изменение энергопотребление здания или даже квартала. Также

с помощью программного комплекса можно оценить целесообразность применения солнечных панелей в зависимости от региона использования и наличия источников энергии в данном регионе.

OpenStudio может импортировать данные в большой спектр других программных комплексов, тем самым обеспечивая универсальность и возможность найти оптимальное решение по обеспечению энергоэффективности здания.

Обучение персонала работать с OpenStudio не вызывает затруднения, главное, чтобы они обладали профильными знаниями в области строительства. Увеличенные возможности программы подразумевают, что необходимо обладать навыками и умениями в смежных программах, которые используются в строительной отрасли. С помощью данной программы легко оценить весь жизненный цикл здания и разработать мероприятия по увеличению не только показателей по энергоэффективности, но и по увеличению срока службы здания.

Несмотря на высокую точность производимых расчетов данным программным комплексом, OpenStudio уступает по производительности программе eQuest. В основном это связано с наличием дополнительных возможностей в области построения графических рисунков и в оценке экономических показателей.

Проведенный анализ программных комплексов по оценке энергоэффективности зданий показал, что все продукты имеют свои преимущества и недостатки. С любым комплексом можно сделать оценку энергоэффективности зданий, но данную оценку необходимо осуществлять в зависимости от поставленных задач.

Для удобства выбора нужного программного комплекса авторы создали таблицу, где демонстрируются возможности каждого программного комплекса по отношению к его конкурентам. В зависимости от конкретных задач пользователя можно выбрать именно тот продукт, который более эффективно и с наименьшими временными затратами обеспечит достижение поставленной цели.

### Сравнительный анализ программных комплексов

Параметр	EnergyPlus	eQuest	OpenStudio
Простота освоения	Сложный	Легкий	Средний
Гибкость и масштабируемость	Высокая	Средняя	Высокая
Поддержка стандартов	LEED, ASHRAE	ASHRAE, Energy Star	LEED, ASHRAE
Точность расчетов	Высокая	Средняя	Высокая
Скорость расчетов	Средняя	Высокая	Средняя

### Заключение

Обеспечение энергоэффективности зданий – это государственная программа, которая должна обеспечить экономический рост страны, повысить благосостояние граждан и увеличить эффективность промышленности. Для этого необходимо разрабатывать и широко внедрять программные комплексы для мониторинга технического состояния зданий, осуществления качественных проектных работ, осуществления на основании экономического анализа учета потребляемых ресурсов, а также разрабатывать мероприятия по эффективному их использованию, оценки внедрения энергосберегающих мероприятий и оценки целесообразности их применения. Программные продукты позволяют нам значительно повысить эффективность использования любого вида энергии и применить современные энергосберегающие технологии.

Проектирование и постройка энергосберегающих зданий является одним из наиболее важных вопросов в энергосберегающей политике каждой развитой страны. Проблема создания и эксплуатации современного здания состоит в том, что в большинстве случаев его создатели не учитывают идею энергосбережения. Главными направлениями повышения энергосбережения зданий и сооружений являются внедрение принципиально новых типов конструкций зданий, а также использование эффективных теплоизоляционных материалов. Речь идет как о современных методах строительства новых зданий жилого и производственного назначения, так и о комплексном переустройстве уже существующих зданий.

Исследование показало, что выбор программного комплекса для оценки энергоэффективности зданий зависит от поставленных задач. EnergyPlus является наиболее мощным инструментом для детального моделирования, но требует высокой квалификации пользователя; eQuest удобен для быстрого анализа, но имеет ограниченные возможности; OpenStudio предоставля-

ет компромисс между точностью расчетов и удобством использования.

### Список литературы

1. Жеребцова О.В. Энергомоделирование как инструмент экономической оценки энергоэффективности зданий // Журнал правовых и экономических исследований. 2021. № 3. С. 181–186. DOI: 10.26163/GIEF.2021.36.62.028.
2. Шелехов И.Ю., Гудков А.И., Пнева М.А. Применение энергосберегающих мероприятий в жилых многоквартирных домах // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 71–2. С. 136–139. DOI: 10.18411/lj-03-2021-70.
3. Shelekhov I., Dorofeeva N., Shelekhov M. Application of energy-efficient methods in heating systems of industrial and public buildings // MATEC Web of Conferences: electronic edition, (Irkutsk, 26–27 апреля 2018 г.). Vol. 212. Irkutsk: EDP Sciences. 2018. P. 02003. DOI: 10.1051/mateconf/201821202003.
4. Журкин М.В., Шевченко Н.Ю. Методы повышения энергоэффективности систем электроснабжения промышленных предприятий // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии (ПЭЭЭ-2017): V Всероссийская научно-техническая конференция (к 50-летию кафедры «Электроснабжение и электротехника» Института энергетики и электротехники) (Тольятти, 01–02 ноября 2017 г.). / Министерство образования и науки Российской Федерации, Тольяттинский государственный университет, Институт энергетики и электротехники. Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2017. С. 242–246.
5. Власова А.А. Оценка энергоэффективности домов после капитального ремонта с учетом фактических условий на основании статистической модели // Фундаментальные исследования с применением компьютерных технологий в науке, производстве, социальных и экономических процессах: материалы 17-й Национальной молодежной научно-практической конференции (Новочеркасск, 20–23 декабря 2017 г.). Новочеркасск: ООО «Лик», 2017. С. 199–203.
6. Черепов А.Д., Марьясин О.Ю. Разработка цифровой модели на основе системы энергомоделирования Energyplus // Семьдесят четвертая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сборник материалов конференции: в 2 ч. (Ярославль, 21 апреля 2021 г.). Ч. 2. Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2021. С. 168–172.
7. Шелехов И.Ю., Смирнов Е.И., Иноземцев В.П. Конструкции отопительных приборов на основе физико-математического моделирования // Научное обозрение. 2016. № 1. С. 42–47.
8. Improving Procedural Skill Confidence in Pediatric Residents: A Longitudinal Simulation-Based Workshop Curriculum / L. Maleknia, V. Boshuizen, H. Caputo, R. Shah. MedEdPORTAL. 2023. DOI: 10.15766/mep\_2374-8265.11322.
9. Jiang Yu., Ge T., Wang R. Comparison study of a novel solid desiccant heat pump system with EnergyPlus // Building Simulation. 2014. Vol. 7, Is. 5. P. 467–476. DOI: 10.1007/s12273-014-0166-7.