

2. Technical report by the Bureau of the United Nations Statistical Commission (UNSC) on the process of the development of an indicator framework for the goals and targets of the post-2015 development agenda. – <https://sdgs.un.org/goals>.

УДК 697.1

Особенности расчета теплопотерь зданий в программе Autodesk Revit

Борухова Л. В., Летун Е. А., Сокол Д. Ю.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Проведено исследование возможностей технологий ВЕМ и ВПС в расчетах теплопотерь. Приведены сравнительные результаты расчетов теплопотерь с помощью Autodesk Revit и нормативной методике

Расчет теплопотерь является важным этапом в проектировании зданий, так как он позволяет принять оптимальные технические решения, связанные с системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Важно отметить, что расчет теплопотерь необходим не только на этапе проектирования, но и при проведении реконструкции и модернизации зданий.

Расчет теплопотерь здания является трудоемким процессом, который требует точного учета таких факторов, как геометрические и теплотехнические характеристики каждой ограждающей конструкций здания.

Выполнение расчета теплопотерь без использования специальных программных инструментов может занять значительное количество времени, а полученные результаты могут быть неточными и не соответствовать действительности в следствии различных ошибок.

Для решения этих проблем возможно использование технологии информационного моделирования зданий (Building Information Modelling – BIM), моделирования энергопотребления зданий (Building Energy Modelling – BEM) и симуляции энергопотребления зданий (Building Performance Simulation – BPS), которые позволяют выполнить расчет теплопотерь более точно и эффективно.

BIM – процесс создания цифровой модели здания, которая содержит всю необходимую информацию об объекте, включая геометрию, материалы, конструкцию, функциональные характеристики, а также информацию об энергетической производительности и управлении зданием.

BEM – процесс создания математической модели здания с использованием специальных программных инструментов. BEM позволяет анализировать и оп-

тимизировать энергопотребление здания и прогнозировать энергетическую эффективность здания. BEM используется для расчета теплотерь, нагрузок на системы охлаждения, отопления, вентиляции, освещения и компонентов, влияющих на энергопотребление здания.

BPS – это комплексный подход к анализу и оценке энергоэффективности зданий, использующий программные средства и математические модели. BPS используется для моделирования тепловых потоков, воздухообмена и электрических нагрузок в зданиях, а также для определения наиболее эффективных путей улучшения их энергетической эффективности.

С помощью BIM и BEM можно создать детальную трехмерную модель здания. А BPS позволяет смоделировать процесс теплообмена в здании, учитывая тепловые потоки через стены, окна, двери и другие элементы конструкции здания. Полученные результаты расчета с использованием BIM, BEM и BPS более точны и соответствуют реальным условиям эксплуатации здания.

BIM, BEM и BPS широко используются в строительной отрасли и инженерном проектировании для повышения эффективности и точности проектирования, а также для оптимизации эксплуатации зданий и систем управления ими. Эти технологии активно распространяются в различных странах мира, в том числе в Беларуси и России, где активно развивается отрасль BIM-технологий [1].

Для улучшения теплоизоляции и энергоэффективности здания университета проведен анализ тепловых потерь здания с помощью программы Autodesk Revit и предложены мероприятия по повышению энергоэффективности [2].

Для коммерческого здания, расположенного в ОАЭ, проведен анализ нагрузки на охлаждение, исследовано влияние и потенциал использования фотоэлектрических фасадных систем с помощью Autodesk Revit и Autodesk Green Building Studio [3].

Проведено сравнение энергопотребления офисного здания в результате изменения сценариев его использования и внедрения различных улучшений. Для моделирования здания использовалась программа Autodesk Revit, а для анализа энергопотребления – EnergyPlus и Autodesk Green Building Studio [4].

Разработана модель для оценки энергетической эффективности зданий на основе регрессионного подхода с использованием инструментов BIM и статистических методов для здания учебного центра в Китае [5].

Анализ энергопотребления выполнен для здания общественной библиотеки, используя для моделирования здания программу Autodesk Revit, а для анализа энергопотребления – EnergyPlus и Autodesk Green Building Studio [6].

Расчетные программы являются инструментом, который может значительно увеличить качество и скорость проектирования и расчетов энергоэффективности. Однако, важно понимать, что результаты, полученные с помощью этих программ, могут содержать неточности, связанные с различием нормативных документов и методик, а также человеческим фактором.

Поэтому необходимо оценивать данные, выдаваемые расчетными программами, на соответствие нормативным требованиям, а также проводить сравнительный анализ с результатами других программ и экспериментальными данными. Это поможет увеличить объективность полученных результатов и снизить вероятность ошибок при принятии решений на основе этих данных.

Вследствие чего сравнение результатов расчетов различных программ друг с другом и с нормативной базой является актуальной задачей.

Наиболее распространенным программным комплексом для реализации ВМ на территории Беларуси является Autodesk Revit. В нем же присутствует инструментарий для реализации ВЕМ в виде модуля EnergyPlus.

Цель работы – сравнить результаты расчетов энергопотребления здания, полученных с помощью модуля EnergyPlus в составе программы Autodesk Revit, с результатами, полученными с использованием устоявшейся методики расчета. Это позволит оценить точность расчетов программы и ее применимость в практических условиях.

Методики расчета теплопотерь по нормативным требованиям Республики Беларусь имеют некоторые отличия от аналогичных за рубежом. В Беларуси расчет теплопотерь регламентирован приложением Д [7], которое устанавливает методику расчета потерь теплоты через ограждающие конструкции.

В данной работе проведено исследование квартиры типового этажа многоквартирного жилого дома, расположенного в городе Минск. Расчетная температура для жилых помещений принимается равной +18 °С, для угловых помещений +20 °С, для ванн и совмещенных санузлов +25 °С.

Принятые теплотехнические характеристики ограждающих конструкций приведены в табл. 1.

Таблица 1

Принятые теплотехнические характеристики ограждающих конструкций

Ограждающая конструкция	Принятое сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°СВт}$
Наружная стена	3,2
Окно	1
Балконная дверь	1
Внутренняя стена	1

Для выполнения расчета энергопотребления в Autodesk Revit была создана трехмерная модель квартиры и ее аналитическая модель энергопотребления (рис. 1).

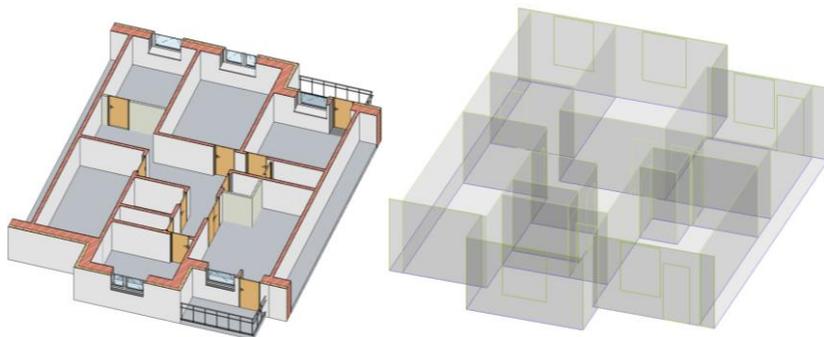


Рис. 1. Трехмерная и аналитическая модели расчетной квартиры

В соответствии с приложением Д [7] расчет теплопотерь выполняется по формуле

$$Q = A \cdot (t_p - t_{ext}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n / R_T,$$

где A – расчетная площадь ограждающей конструкции, m^2 ; t_p – расчетная температура воздуха в помещении, $^{\circ}C$, с учетом повышения ее в зависимости от высоты помещения для помещения высотой более 4 м; t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года при расчете потерь теплоты через наружные ограждающие конструкции или температура воздуха более холодного помещения при расчете потерь теплоты через внутренние ограждающие конструкции; β – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь, учитывающих влияние ориентации фасада и других факторов; n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху; R_T – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^{\circ}C / Вт$.

Данные, полученные в результате расчета двумя способами, приведены в табл. 2 и на рис. 2.

Анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод, что потери теплоты, полученные по методикам расчета в Autodesk Revit, отличаются от потерь теплоты, рассчитанных по нормативной методике для различных помещений от 8,4 % до 59,7 %, что в целом по квартире составляет 26,7 %.

Таблица 2

Сравнение теплотерь, полученных по нормативной методике и рассчитанных в программе Autodesk Revit

№ пом.	Наименование помещения	Теплотери рассчитанные по нормативной методике, Вт	Теплотери рассчитанные в Revit, Вт	Расхождение, %
1	Жилая комната	201	156	22,4
2	Жилая комната	367	276	24,8
3	Жилая комната	269	205	23,8
4	Жилая комната	323	296	8,4
5	Кухня	486	317	34,8
6	Ванная	134	54	59,7
Итого:		1780	1304	26,7

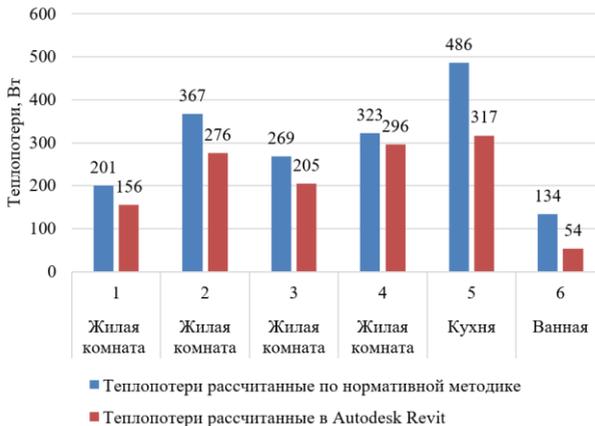


Рис. 2. Сравнение теплотерь полученных по нормативной методике и рассчитанных в программе Autodesk Revit

Полученные расхождения результатов являются следствием следующих факторов:

- аналитические поверхности стен в Autodesk Revit строятся по их середине в отличие от нормативной методики, где необходимо вычислять площадь по наружным граням ограждающей конструкции;
- в расчете потерь теплоты в Autodesk Revit не учитываются добавочные потери теплоты, определяемые коэффициентом β ;
- в расчете теплотерь в Autodesk Revit перетоки теплоты между помещениями учитываются при любой разности температур.

Следует отметить, что модуль EnergyPlus является открытой расчетной программой, в связи с этим возможна корректировка метода расчета с целью приведения его к требованиям нормативных документов.

Использование BIM-технологий для анализа энергоэффективности зданий может помочь проектировщикам и заказчикам в оптимизации конструкции здания и выборе наиболее эффективных технологий и инженерных систем. Энергетические расчеты, выполненные в расчетных программах, позволяют получить данные энергопотребления для любого отрезка времени года (день, неделя, месяц, квартал). Расчет выполняется автоматически, что исключает случайные ошибки.

Однако, несмотря на эти преимущества существует ряд сложностей:

- необходимость проверки на соответствие нормативной методике расчета и корректировка настроек программы в случае расхождений;
- необходимость наличия или создания качественной 3D-модели;
- необходимость наличия программного обеспечения;
- необходимость наличия навыков и соответствующей квалификации;
- возможно возникновение ошибок в процессе обмена данными между программами для моделирования и анализа.

Помимо рассмотренного модуля EnergyPlus в составе Autodesk Revit, существует ряд других программных комплексов для выполнения энергетического анализа зданий таких как: Autodesk Green Building Studio, Hourly Analysis Program, DesignBuilder, ClimateStudio for Rhinoceros, IDA Indoor Climate and Energy, Bentley Hevacomp, IES VE, Graphisoft EcoDesigner STAR, Sankom Audytor OZC, eQuest и др.

По результатам исследования можно сделать вывод, что при использовании технологий ВЕМ и BPS для расчета потерь теплоты необходимо анализировать методику и корректировать с учетом требований нормативной документации.

Литература

1. Васильева, М. С. Энергомоделирование как современная основа повышения энергоэффективности зданий / М. С. Васильева, М. Д. Терех // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы IV Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 85–92.

2. Raaid, R. J. A. D. Opportunity of Improving the Thermal Performance of a High-performance University Building Based on Revit Software / R. J. A. D. Raaid, S. Thamer, K. I. Thamir // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. – 2020. – Vol. 43 – P. 497–513.

3. Analysis of cooling load on commercial building in UAE climate using building integrated photovoltaic façade system / T. Salameh [et al.] // Solar Energy. – 2020. – Vol. 199 – P. 617–629.

4. Investigation of Energy Saving Using Building Information Modeling for Building Energy Performance in Office Building / H. Fitriani [et al.] // Civil Engineering and Architecture. – 2022. – Vol. 10, № 4. – P. 1280–1292.

5. Implementation of BIM Energy Analysis and Monte Carlo Simulation for Estimating Building Energy Performance Based on Regression Approach: A Case Study / F. Tahmasebinia [et al.] // Buildings. – 2022. – Vol. 12, № 4. – P. 449.

6. Gao, X. Research on Building Energy Consumption Based on BIM / X. Gao, Y. Wu, Y. Li // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2020. – Vol. 474, № 7. – P. 072022.

7. СН 4.02.03-2019. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Введ. 2019–12–16. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 68 с.

УДК 697.9 +51-74

Анализ возможностей применения топологической оптимизации в конструктивных элементах систем отопления и вентиляции

Борухова Л. В., Летун Е. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Проведено исследование методов и возможностей топологической оптимизации. Приведены результаты исследований в области применения топологической оптимизации в элементах систем отопления и вентиляции

Топологическая оптимизация является относительно новой методологией в инженерной оптимизации. Первые работы, связанные с применением топологической оптимизации в проектировании конструкций, появились в 1980-е годы.

Следующий важный шаг в развитии топологической оптимизации был сделан в 1990-х годах, когда методы оптимизации были введены для управления геометрией и топологией конструкций. Это позволило исследователям использовать более сложные и точные модели конструкций и применять для решения более широкого спектра задач.

В 1993 году был предложен метод эволюционной оптимизации [1], позволяющий достичь оптимальной формы с помощью обучения программного обеспечения следовать определенному эволюционному пути.