

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шароваровой Екатерины Петровны «Солнечно-геотермальное энергоснабжение зданий с энергоэффективными фасадными конструкциями», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии.

На отзыв представлена диссертационная работа объемом 135 страниц машинописного текста, которая содержит введение, 5 глав, заключение, 17 таблиц, 86 рисунков и 7 приложений. Библиографический список включает 81 наименование. Материалы диссертации изложены в 12 печатных работах, опубликованных в изданиях из перечня ВАК, в том числе в 6 статьях, проиндексированных в Scopus и Web of Science, получен один патент РФ на полезную модель.

### **Актуальность темы исследования**

Экономические, экологические и социальные проблемы современности заставляют общество обратить внимание на динамику потребления ресурсов различных видов. Растущая скорость потребления, прежде всего, связана с растущей численностью населения Земли. Кроме того, она напрямую связана с повышением уровня жизни, что нередко сопряжено с увеличением потребления ресурсов. Для обеспечения конкуренции на рынке товаров и услуг современная промышленность вынуждена производить ресурсы с избытком, значительная часть данных ресурсов не используется. Энергия в разных ее видах (электрическая, тепловая и т.д.) является одним из основных видов ресурсов, без которого невозможно представить существование нашей цивилизации.

Основным источником энергии, как тепловой, так и электрической, в настоящее время является углеводородное топливо, которое сжигается в огромных масштабах на электростанциях, котельных и ТЭЦ для покрытия энергопотребления как жилищного, так и промышленного секторов. Такой способ выработки энергии скрывает в себе несколько опасностей. Во-первых, запасы углеводородного топлива, которое, кроме прочего, является ценным сырьем химической промышленности, ограничены десятками или сотнями лет (по разным оценкам), после чего человечество будет вынуждено снизить уровни потребления, что вызовет экономические и социальные потрясения. Что более существенно, сжигание углеводородного топлива в больших объемах наносит непоправимый урон экосистеме планеты. Повышение

концентрации диоксида углерода в атмосфере приводит к усилению парникового эффекта и существенным климатическим сдвигам, что мы уже начинаем чувствовать в повседневной жизни. Диссертант приводит график, опубликованный Европейской комиссией, который указывает на линейный или даже экспоненциальный рост выбросов диоксида углерода в атмосферу от года к году.

С подобным по масштабам вызовом человечеству не приходилось сталкиваться ранее. Крайняя обеспокоенность мирового сообщества подтверждается количеством инвестиций в область изучения и разработки технологий, позволяющих снизить использование углеводородов в энергетической промышленности. В диссертации приводятся данные о европейских научных проектах HORIZON 2020 и ENERGYSTRATEGY 2050, которые можно считать одними из самых крупных инвестиционных проектов в научные и технологические разработки. В соответствии с данными программами, Европейский союз нацелен разработать и применить на практике технологии получения электрической и тепловой энергии из природных возобновляемых источников, что, как ожидается, снизит нагрузку на окружающую среду. Подобные проекты реализуются во многих странах мира, включая Россию. Нужно отметить, что несмотря на колоссальный объем инвестиций, эти проекты стоит считать лишь начальными шагами на пути к формированию устойчивого сосуществования цивилизации и экосистемы планеты.

В диссертации Шароваровой Е.П. предложена и исследована новая технология повышения энергоэффективности отдельного жилого здания. Исследование показало снижение потребления сетевой электроэнергии на 40 % при условии использования предложенной технологии в условиях России, а именно города Екатеринбурга. Соответственно, применительно к отдельно взятому зданию, ожидается снижение потребления углеводородного топлива также примерно на 40 %. Показана экономическая окупаемость, что немаловажно, принимая во внимание необходимость переоборудования большого количества зданий жилой застройки для получения эффекта на уровне страны. Изложенное выше показывает, что диссертация Шароваровой Е.П. затрагивает один из самых существенных вызовов современности. Таким образом, диссертацию Шароваровой Е.П. по специальности 05.14.08 следует считать актуальной.

## **Общая методика исследования**

Диссертант применила широкий диапазон современных методов исследования. В теоретической части работы использовалось комплексное математическое моделирование физических процессов, протекающий в многослойной фасадной панели, включая ее напряженно-деформированное состояние, аэродинамику проточной части, а также тепловой режим отдельных узлов и всей системы в целом. Математическое моделирование было также применено для исследования теплового режима грунтового коллектора, используемого в составе теплового насоса. Для решения уравнений напряженного состояния твердого тела, уравнений динамики воздуха и уравнений теплопередачи для трехмерного домена использовался программный пакет ANSYS, широко применяемый как в научных исследованиях, так и в инновационных разработках.

В работе также представлены экспериментальные исследования работы внешнего слоя многослойной фасадной панели, состоящего из фотоэлектрических преобразователей. Измерения показателей оборудования проводились в автоматизированном режиме с применением современного аналогово-цифрового оборудования и соответствующего программного обеспечения. Статистический анализ результатов измерения указывает на достоверность полученных данных.

## **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Диссертант выполнила обзор отечественной и зарубежной литературы и выявила существующие пробелы, а соответственно и резервы для совершенствования энергосберегающих технологий. Выполненное исследование опирается на существующий опыт и данные, опубликованные в ряде научных работ, и является новым вкладом в научную литературу.

Диссертант корректно применяет фундаментальные законы механики деформированного твердого тела, законы механики жидкости и законы теплопередачи для обоснования полученных результатов и выводов. Верное применение метода планирования факторного эксперимента подтверждает достоверность и обоснованность полученного оптимального решения для многослойной фасадной панели. Пост-обработка серии многочисленных численных экспериментов выполнена с применением фундаментальных уравнений баланса энергии, что свидетельствует о верных значениях применяемой целевой функции и факторов.

## **Научная новизна полученных результатов**

Новые научные результаты, полученные соискателем:

1. Новая технология солнечно-геотермального энергоснабжения жилого здания с эффективными фасадными конструкциями, разработанная и оптимизированная для применения в климатических условиях России, а именно в городе Екатеринбурге.

2. Трехмерные численные модели многослойной фасадной панели, позволяющие определить как напряженно-деформированное состояние отдельных элементов, так и тепловой режим работы здания с учетом движения атмосферного воздуха, воздуха в помещениях, а также в проточной части вентилируемого фасада. Данную численную модель следует считать мультифизической, так как она позволяет учесть влияние факторов различной физической природы на комплексную работу исследуемой системы.

3. Метод оптимизации на основе многофакторного эксперимента, адаптированный для использования в комплексе с указанной выше математической моделью. Особенность данного метода составляет способ сжатия полученной в математической модели информации в единственное значение целевой функции посредством применения уравнений баланса энергии и оценки эффективного термического сопротивления.

4. Методика определения параметров грунтового коллектора, используемого в составе теплового насоса. Данная методика также включает в себя корректное сочетание методов математического моделирования и пост-обработки полученных данных.

5. Отдельную ценность составляет выполненный экологический и экономический анализ, который указывает на возможность практического применения разработанной инновационной системы вентилируемого фасада в климатических и экономических условиях России уже сегодня. Это подчеркивает непосредственную связь выполненного прикладного исследования с существующей ситуацией в стране и мире.

## **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Теоретическая значимость полученных диссертантом результатов состоит в разработке комплекса теоретических и экспериментальных методов исследования и усовершенствования энергоэффективной системы энергоснабжения здания на основе многослойного вентилируемого фасада. Данный комплекс включает в себя: (i) трехмерную численную модель

режимов работы системы, которая учитывает сложную комбинацию механических, гидродинамических и тепловых процессов; (ii) методы пост-обработки численных экспериментов для применения полученных результатов в оптимизации устройства и режимов работы системы; (iii) метод многофакторного эксперимента, адаптированный для использования в комбинации с математическими моделями; (iv) метод экологической и экономической оценки исследуемого энергоэффективного решения для энергоснабжения зданий в условиях России.

В диссертации показано, что незначительные изменения геометрических параметров проточной части многослойного фасада, а также режимов его работы могут привести к недопустимым теплоэнергетическим состояниям системы, что может нанести вред несущим конструкциям здания, а также вызвать условия, недопустимые для проживания людей в строении. Показано, что выбор оптимальных размеров проточной части фасада необходимо производить для каждого здания в отдельности с применением разработанного комплекса методов.

Особую важность полученных диссертантом результатов для практики составляет оценка экономической целесообразности применения исследуемой системы в реальных условиях российского рынка. Материалы и инженерные решения, используемые в конструкции энергоэффективного многослойного фасада зданий, были выбраны с учетом технологий, применяемых на строительных предприятиях Свердловской области. Таким образом обеспечивается возможность непосредственного внедрения разработанной технологии в проектную деятельность и строительство зданий в ближайшей перспективе.

Результаты исследований, представленные в настоящей диссертационной работе, докладывались и обсуждались на конференциях международного и всероссийского уровня. Публикации диссертанта в изданиях из перечня ВАК также подтверждают научный уровень разработок. Особенно следует отметить публикацию шести статей в международных журналах из списка Scopus и Web of Science. Содержание диссертации полностью отражает содержание опубликованных научных работ.

Разработанные в диссертации методы и полученные данные внедрены и используются в проектной деятельности ООО «ТЕХКОН», ООО «Третья Проектная», а также в учебном процессе кафедры Системы автоматизированного проектирования объектов строительства Института строительства и архитектуры УрФУ при подготовке инженеров-строителей.

Следует акцентировать внимание на принятых к практическому использованию рекомендациях по разработке систем геотермального энергоснабжения зданий. Практическое значение исследования подтверждено актами внедрения, приложенными к диссертации.

### **Замечания**

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В диссертации приводится экспериментальное исследование характеристик тонкопленочных фотоэлектрических преобразователей. Требуется пояснить чем вызвана необходимость измерения данных характеристик, и чем полученные данные отличаются от декларируемых заводом-изготовителем.

2. Необходимо пояснить каким образом измерялась мощность падающего излучения  $Q$ , используемая в формулах (3.1) и (3.2).

3. В диссертации недостаточно полно приведено описание теоретической части используемых математических моделей: решаемые уравнения, применяемые численные методы, используемые методы сопряжения различных моделей.

4. В диссертации не полностью раскрыт вопрос пространственной и временной сходимости используемых численных методов. Требуется уточнить какой критерий сходимости был использован, почему расчет прерывался после 1200 и 2000 итераций, и как проверялась сеточная устойчивость результатов.

5. Необходимо уточнить по какой гипотезе вычислялись эквивалентные напряжения на рисунках 4.5, 4.6, 4.8–4.17.

6. Необходимо уточнить какие граничные условия использовались на границах трехмерного домена, лежащих в плоскости рисунка 4.27.

7. Необходимо пояснить каким образом была получена формула (4.13) или сослаться на соответствующий литературный источник.

8. На рисунке 4.34 наблюдается локальный провал графика приведенного термического сопротивления в окрестности температуры  $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Может ли диссертант дать пояснения о возможных физических причинах данного провала?


На отдельные замечания, опечатки и технические недостатки текста диссертации соискателю было указано в устной форме. Отмеченные замечания по работе в целом не снижают ее достоинства. Работа выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и практической значимостью.

## Общая оценка диссертационной работы

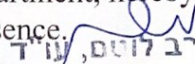
Тема диссертационной работы Шароваровой Е.П. соответствует научной специальности 05.14.08 - Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии. Автореферат диссертации и публикации соискателя в достаточной мере отражают содержание работы. В автореферате отмечен личный вклад автора в научное исследование, представлена новизна и практическая значимость результатов. Представлен список научных публикаций. В целом диссертационная работа позволяет судить о достаточной научной квалификации соискателя Шароваровой Е.П.

Диссертационная работа Шароваровой Е.П. «Солнечно-геотермальное энергоснабжение зданий с энергоэффективными фасадными конструкциями» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне. Работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в УрФУ. Научные результаты характеризуются как научно-обоснованные технические разработки в области технологий использования возобновляемых источников энергии для энергоснабжения зданий, имеющие существенное значение для науки и техники. Считаю, что работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Шароварова Екатерина Петровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по заявленной специальности 05.14.08 - Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии.

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук,  
лектор Департамента машиностроения и  
мехатроники Инженерного факультета,  
Ариэльский университет,  
ул. Рамата Ха-Голана, 65, г. Ариэль,  
Израиль

  
Хаит Анатолий Вильич  
anatoliyk@ariel.ac.il  
23/11/2021

I, Merav Lotem, Adv, Israeli license number 58171, at Ariel University legal department, hereby confirm the signature of Dr. Anatoliy Khait, signed in my presence.

  
58171  
Merav Lotem, Adv  
Legal Department,  
Ariel University

University  
-protif  
n