

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ТЕПЛОФИЗИКИ
им. С.С. КУТАТЕЛАДZE
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИТ СО РАН)

проспект Академика Лаврентьева, 1
г. Новосибирск, 630090
Тел.: (383)330-90-40; 330-84-80; факс 330-84-80
Эл. почта: director@itp.nsc.ru
ИНН/КПП 5408100040/540801001
ОКПО 03534009 ОГРН 1025403648786

От 02.12.2022 № 15314 -03/895
На _____ от _____
┌ _____ └ _____

Доктору технических наук, доценту,
ученому секретарю
диссертационного совета 24.2.327.06
Краеву В.М.

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,
Волоколамское ш., д.4
МАИ, Ученый совет

Уважаемый Вячеслав Михайлович!

Направляю Вам отзыв официального оппонента доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника лаборатории термогазодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук Терехова Виктора Ивановича на диссертационную работу Семенова Дмитрия Сергеевича «Идентификация математических моделей радиационно-кондуктивного теплопереноса с использованием бесконтактных измерений», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника». Отзыв положительный с замечаниями.

Сообщаем также, что В.И. Терехов лично присутствовать на процедуре защиты диссертации не сможет в силу служебной необходимости.

Приложение: отзыв на 6 листах, в двух экземплярах

Ученый секретарь, к.ф.-м.н.



Макаров М.С.

Отдел документационного
обеспечения МАИ
«06» 12 2022

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Семенова Дмитрия Сергеевича «Идентификация математических моделей радиационно-кондуктивного теплопереноса с использованием бесконтактных измерений», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14. – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

В диссертационной работе Семенова Д.С. рассмотрены задачи идентификации математических моделей радиационно-кондуктивного теплопереноса, решение которых базируется на аппарате обратных задач теплообмена при бесконтактных измерениях температуры на поверхности исследуемых образцов.

Актуальность работы обуславливается необходимостью прогнозирования и оптимизации процессов теплопереноса при проектировании, сложных теплонагруженных систем индивидуальной тепловой защиты, а также, в разработке новых теплоизоляционных материалов. Для таких систем требуется выполнение моделирования условий интенсивных и экстремальных внешних воздействий и определения связи между состоянием системы и ее параметрами, которые могут изменяться со временем или быть неопределенными. Подобные постановки задачи обычно сводятся к решению обратных задач теплообмена. Особенно следует отметить важность предложенного подхода с точки зрения минимизации числа циклов производственного процесса за счет математического моделирования и, как следствие, сокращения производственных циклов.

Работа выполнена на стыке наук о теплофизике и медицины. Процесс перегрева участков тела живого организма (гипертермия) в настоящее время начинает все более активно применяться как малоинвазивный метод борьбы с онкологическими и другими заболеваниями. Имеющиеся методики гипертермического воздействия основаны, как правило, на эмпирических знаниях этого сложного и весьма опасного возможными последствиями процесса, поэтому

создание фундаментальных основ гипертермии (как, кстати, и гипотермии) имеет важное и весьма масштабное значение. По нашим данным подобные работы начинают развиваться во многих научных центрах у нас в стране и за рубежом. Активное развитие эти исследования получают в Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН совместно с рядом медицинских учреждений Российской академии наук.

В работе рассматривается простой по реализации, но в то же время сложный по физике происходящих теплофизических процессов, лазерный импульсный нагрев участка кожи при неизвестной температуре в подкожной области. А это величина является чрезвычайно критичной, поскольку она не должна превышать величин 43-45 градусов, при которой разрушается белок. При этом измерение температуры возможно проводить только на внешней поверхности кожи.

Научная новизна исследования не вызывает сомнений и заключается она в оригинальной формулировке постановки обратной задачи теплообмена и идентификации математической модели в условиях невозможности применения традиционных для данного класса задач внутренних измерений температуры, ограничиваясь лишь бесконтактными измерениями на поверхности. Главным, по мнению рецензента, достижением работы является создание своеобразного научно обоснованного алгоритма организации процесса гипертермического перегрева участка биологической ткани.

Достоверность и обоснованность полученных результатов, сформулированных научных положений и выводов, обеспечена корректным применением общепринятых подходов к математическому моделированию, использованием классических методов теории теплообмена и решения обратных задач. Эффективность предложенного подхода была подтверждена путем проведения вычислительного эксперимента и выполнения натурных испытаний.

Практическая значимость работы обуславливается формированием комплексного решения для определения теплофизических и радиационно-оптических характеристик исследуемого или проектируемого объекта, обеспечением высокоточного прогнозирования процессов переноса тепла и, как следствие, эффективностью функционирования самого широкого круга систем

Основные результаты диссертационного исследования основательно и подробно представлены в научной печати. Они опубликованы в 17 печатных работах, в том числе: 3 – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (по специальности 1.3.14.), 5 – в рецензируемых научных изданиях, входящих в базы данных системы индексирования «Scopus» и 4 – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по иным специальностям, а также представлены на 5 российских и международных научных конференциях.

Работа состоит из пяти глав. В первой главе сформулировано состояние решения научной проблемы, представлен литературный обзор и постановка цели работы. На примере процесса лазерной гипертермии поверхностных биологических тканей показана актуальность решения задачи идентификации применительно к конкретному физическому процессу. Рассмотрены вопросы математического моделирования в прогнозировании и оптимизации теплового воздействия. Приведено сравнение используемых значений параметров тканей и сформулировано обоснование выбора комплекса вычисляемых характеристик. В целях определения требований к экспериментальному оборудованию выполнено исследование средств термометрии, применяемых на практике.

Вторая глава посвящена непосредственно алгоритму идентификации математической модели, основанного на аппарате обратных задач теплообмена. Сформулирована одномерная задача нестационарного теплопереноса при воздействии внешнего радиационного теплового потока: на пластину с одной стороны действует тепловой поток лазера и выполняются бесконтактные измерения температуры поверхности, а с другой происходит теплообмен с окружающей средой. Предложена математическая модель, описывающая процесс и разработан алгоритм идентификации параметров математической модели использующий метод итерационной регуляризации. Работоспособность подхода подтверждена методом вычислительного эксперимента.

В третьей главе приведены результаты экспериментальной отработки предложенной методики. Разработана конструкция стенда, реализующего тепловое воздействие инфракрасным лазером на поверхность образца и регистрацию теплового отклика. Проведено обоснование выбора измерительных систем и

материала опытного образца – полиэтилена низкого давления. Проведены тепловые испытания, в рамках которых получены данные для реализации алгоритма идентификации математической модели. Восстановлены значения трех характеристик: коэффициентов теплопроводности и теплоотдачи, а также, амплитуды поглощенного теплового потока лазера.

В четвертой главе сформулирован подход к определению комплекса неизвестных характеристик системы в случае модификации математической модели при учете полупрозрачности анализируемого материала и, как следствие, наличие внутреннего радиационного теплопереноса. Внесение изменений связано с возникающей на практике необходимостью повышения точности математического или физического моделирования путем учета дополнительных факторов. Предложен метод декомпозиции вычислительного процесса, основанный на независимом рассмотрении периодов нагрева и охлаждения образца. Реализованы соответствующие модификации алгоритма и программного обеспечения.

Пятая глава посвящена экспериментальной апробации модифицированного алгоритма и включает описание модернизированной испытательной установки. Включение учета полупрозрачности и опыт предыдущих экспериментов стали причиной включения блока управления мощностью лазера, корректировке методики бесконтактной регистрации температуры и других изменений. Аналогично описанному в главе 3 эксперименту, его результаты были обработаны при помощи программного комплекса. Восстановлены значения четырех характеристик. На данном этапе показана эффективность разработанного алгоритма идентификации при необходимости включения дополнительных параметров в математическую модель.

В качестве замечаний следует отметить следующее:

1. Автором решаются обратные задачи в одномерной постановке. На самом деле возможны краевые эффекты, которые могут сводить задачу теплопроводности к двумерной. Эта проблема следует более детального обсуждения.
2. В работе учитывается только два механизма переноса теплоты от поверхности исследуемого тела - конвекцию и радиационную компоненту. У биологических тканей мощным фактором является фазовый переход (испарение). Ясно, что его

учет требует детального рассмотрения, но какие то, даже грубые оценки следовало бы в работе сделать.

3. В диссертации практически не уделяется внимание поведению теплоемкости материала. В реальных условиях это строго постоянная величина? Изменяется ли при этом при перегреве структура материала? Как ведет себя коэффициент теплопроводности тканей?

4. В уравнении переноса тепловой энергии (4.2) дополнительный член, учитывающий прозрачность материала имеет экспоненциальный вид. Пояснений по этому поводу нет, как и значений констант в этом слагаемом. Такие данные следовало бы привести.

5. На Рис. 3.9 – 3.11 следовало бы нанести шкалу масштабов по оси абсцисс (размеры лазерного пятна по двум координатам).

6. В тексте диссертации имеются ошибки и неточности. Например, в автореферате: стр. 7 после формулы (1) описываемая величина не соответствует размерности -... температура перфузирующей крови [Дж/кг•К], в соотношении (2) величины f_{conv} и f_{rad} не могут быть коэффициентами теплоотдачи; стр. 22 термин «внекарабельная деятельность».

Как видно, отмеченные недостатки можно отнести к категории не достаточно полно освещенных вопросов и они не снижают высокой оценки научной новизны полученных результатов и их практической значимости. Полученные автором результаты научного исследования имеют важное значение для развития теплофизических основ новых методов гипертермического воздействия лазерного излучения с биологическими тканями с использованием методов решения обратных задач теплообмена и могут найти широкое применение в различных областях техники, в том числе и медицине.


Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации. Автореферат дает правильное представление о проделанной работе, содержит в кратком виде необходимую информацию, характеризующую полученные результаты, основные положения и выводы к диссертации.

По научному уровню, новизне полученных результатов, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа соответствует квалификационным требованиям п.п. 9–14 «Положения о присуждении ученых

степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Семенов Дмитрий Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Официальный оппонент,

д.т.н., профессор, главный научный
сотрудник Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук



Терехов В.И.

09.12.2022

Терехов Виктор Иванович

адрес: 630128, Новосибирск, ул. Демакова, 1, кв. 57

e-mail: terekhov@itp.nsc.ru

тел.: 8.383.330.07.36

Докторская диссертация защищена по специальности
01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Подпись Терехова Виктора Ивановича удостоверяю

Ученый секретарь



Макаров М.С.



с отзывом оппонента
09.12.2022

