

УДК 528.7:629.78

**СИСТЕМА ФОРМУВАННЯ БЕЗТІНЬОВОГО
ІНФРАЧЕРВОНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПРОЦЕДУРИ ПЕЛОЇДОТЕРАПІЇ**

**СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ БЕСТЕНЕВОГО
ИНФРАКРАСНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПРОЦЕДУР ПЕЛОИДОТЕРАПИИ**

**SYSTEM FOR FORMATION OF NONSHADED INFRARED FIELD
FOR PELOIDOTHERAPY PROCEDURES**

В.И. МЕЩЕРЯКОВ, докт. техн. наук,

Д.В. МЕЩЕРЯКОВ, Е.В. ЧЕРЕПАНОВА

Одесский государственный экологический университет, Украина

Розроблена система формування безтіньового інфрачервоного поля для опромінювання пацієнтів при виконанні фізіотерапевтичних процедур пелоїдотерапії, яка дозволяє керувати енергетичною і спектральною складовою поля. Наведено результати моделювання індикатрис випромінювачів з параболічним і кутовими відбивачами. Представлені результати розробки конструкцій камер пелоїдотерапії з дзеркалами Френеля, загальним і локальними циліндричними відбивачами, статичними і пульсуючими інфрачервоними випромінювачами.

Ключові слова: *інфрачервоне поле, випромінювач, параболічний відбивач, безтіньова зона, камера пелоїдотерапії.*

Разработана система формирования бестеневого инфракрасного поля для облучения пациентов при выполнении физиотерапевтической процедуры пелоидотерапии, позволяющая управлять энергетической и спектральной составляющей поля. Приведены результаты моделирования индикатрис излучателей с параболическим и угловым отражателем. Представлены результаты разработки конструкций камер пелоидотерапии с зеркалами Френеля, общим и локальными цилиндрическими отражателями, статическими и пульсирующими инфракрасными излучателями.

Ключевые слова: *инфракрасное поле, излучатель, параболический отражатель, бестеневая зона, камера пелоидотерапии.*

It was developed the system for performing a nonshaded infrared field for irradiating patients during a physiotherapeutic pelototherapy procedure, which makes it possible to control the energy and spectral components of the field. The results of modeling the indicatrices of radiators with parabolic and angular reflectors are presented.

© Мещеряков В.И., Мещеряков Д.В., Черепанова В.Е., 2017

The results of peloid chambers design with Fresnel mirrors, common and local cylindrical reflectors, static and pulsating infrared emitters are presented.

Keywords: *infrared field, radiator, parabolic reflector, nonshaded zone, peloidotherapy chamber.*

Введение. Инфракрасный нагрев получил широкое распространение в технологии изготовления электронных изделий при сушке компаундов и влагозащитных покрытий, нагреве технологических сред электроники, сварке и лазерной пайке микросборок, утилизации продуктов производства [1]. Существует класс задач, требующих создания равномерно распределенного пространственного инфракрасного поля, причем требования к равномерности не столь жесткие как в измерительной оптической аппаратуре [2]. К ним относятся обогрев птенцов и животных [3], лечебные терапевтические процедуры пелоидотерапии [4] и т. п.

Пелоидотерапия – эффективный метод лечения многих заболеваний, основанный на взаимодействии лечебных грязей с кожей человека. Лечебное применение включает весь спектр показаний для грязелечения: заболевания и травмы опорно-двигательного аппарата, периферической нервной системы и др., различные гинекологические и урологические заболевания, внутренние болезни и заболевания ЛОР органов, косметология. Метод составляет комплексный подход к лечению и реабилитации, регулируемого термо- и цвето- воздействия, бальнео-процедур.

Основу запатентованного метода, составляет нагрев пелоида регулируемым потоком инфракрасного излучения непосредственно на теле пациента в специальной камере [5]. Методика подобна египетскому методу, но вместо солнечных лучей использовано искусственное инфракрасное излучение.

Целью работы явилась разработка системы формирования бестеневого инфракрасного поля излучения для медицинского приложения в курортологии.

Методика решения задачи. Известно, что интегральная плотность потока излучения описывается законом Стефана-Больцмана

$$W(T) = \sigma T^4, \quad (1)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, равная $5,6697 \cdot 10^{-12}$ Вт/(см²·К⁴);
 T – температура в градусах Кельвина, К.

Для реальных тел добавляется безразмерный коэффициент черноты ε , который определяет отличие излучательной способности абсолютно черного тела от реального, например, для керамики он составляет 07-08.

Индикатриса излучения точечного источника излучения абсолютно черного тела подчиняется закону Ламберта, а для реальных излучателей только в ограниченных углах.

Для исследования индикатрис излучения инфракрасных излучателей проведено моделирование в пакете MATLAB. На рис. 1 и 2 представлены индикатрисы излучения точечного излучателя и излучателя конечных размеров с параболическими отражателями. Отражатели позволяют повысить энергетическую эффективность излучателей, поскольку используют и энергию тыльной стороны.

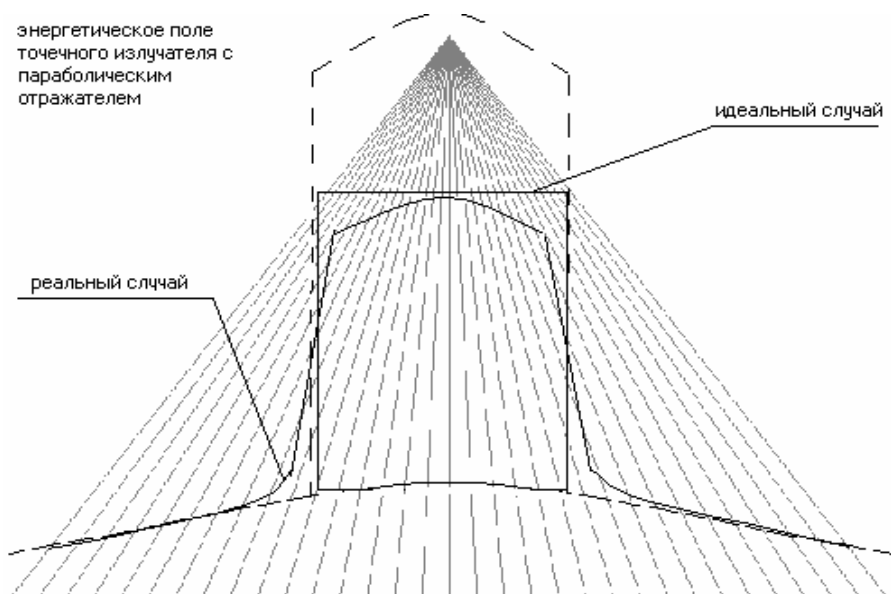


Рис. 1. Энергетическое поле точечного излучателя с параболическим отражателем

Из приведенных рисунков следует, что результирующее поле излучения реальных излучателей существенно отличается от индикатрисы идеальных точечных излучателей. Излучатели могут иметь различные спектральные составы излучения, поскольку характер взаимодействия излучения различных спектральных составов с кожей человека отличается.

Если рассмотреть систему, состоящую из нескольких инфракрасных излучателей, равноудаленных друг от друга, которые генерируют направленное посредством параболического рефлектора излучение, получим пространственно-распределенное энергетическое поле согласно выбранной конфигурации расположения излучателей. Соответствующим расположением излучающих элементов можно получить распределение энергетического поля заданной конфигурации.

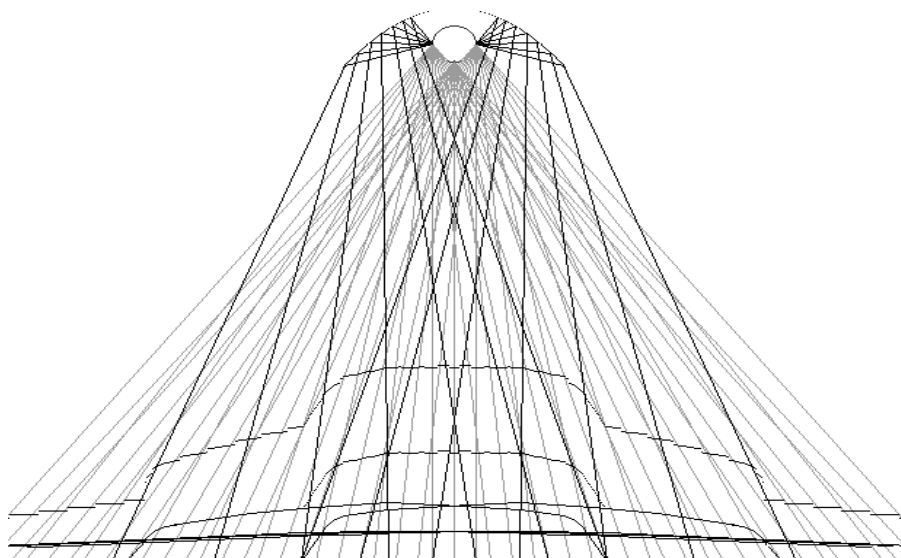


Рис. 2. Энергетическое поле излучателя конечных размеров с параболическим отражателем

Результаты моделирования индикатрисы результирующего поля для нескольких точечных и реальных излучателей показал возможности формирования инфракрасного поля различной конфигурации от фокусировки до рассеяния.

Алгоритм их управления является аддитивным и заключается в коммутации отдельных излучателей и оценке результирующего поля излучения.

При использовании излучателей различных типов можно управлять как распределением энергетического поля, так и спектральным составом поля. Тепловые поля, рассчитанные в ходе математического моделирования, были подтверждены экспериментальными данными.

Вместе с тем, подбор расположения излучателей не решает проблему создания бестеневого поля, поскольку наличие в области облучения объекта приводит к появлению теневых зон.

Проведены исследования влияния отражающей поверхности, построенной в соответствии с реальными конструктивными особенностями трубчатых излучателей, с коэффициентом отражения стенок равным 0,7 на формируемое пространственно-распределенными инфракрасными излучателями энергетическое поле. На рис. 3 приведена схема замкнутой системы, где указана конфигурация расположения излучателя и отражающей поверхности.

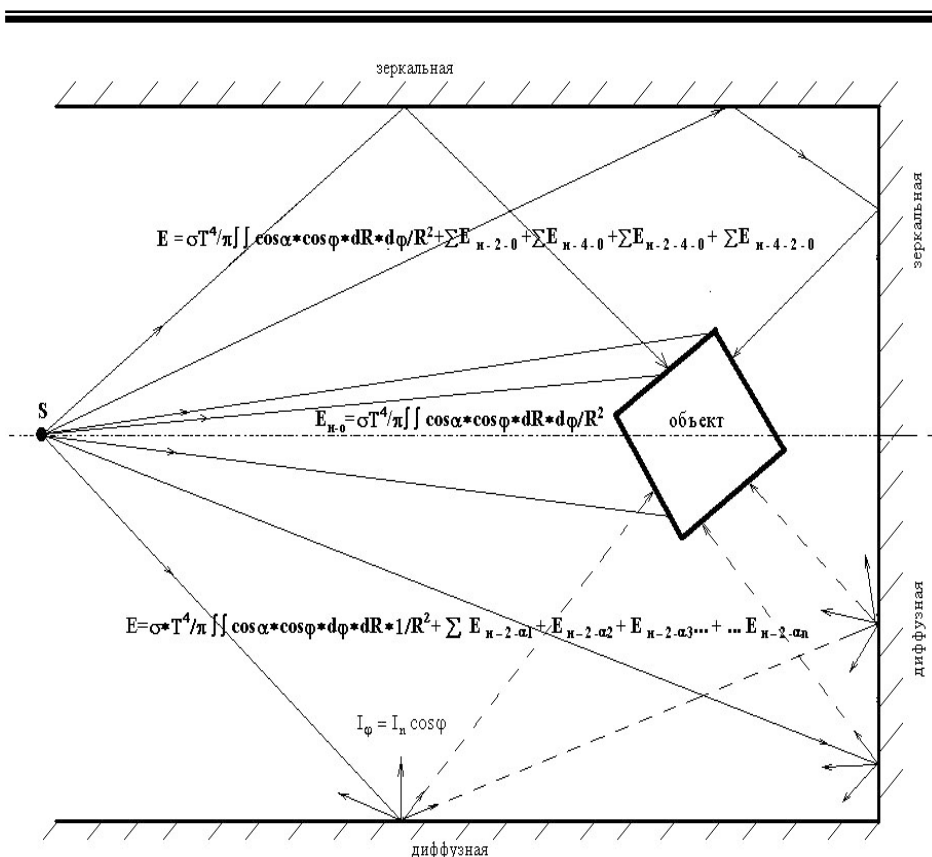


Рис. 3. Модель облучения объекта с зеркальными и диффузными отражателями

Анализ модели показал, что при использовании диффузных отражающих стенок равномерность потока существенно улучшается, однако различие в облученности прямой и тыльной сторон объекта (человека в зоне инфракрасного облучения) отличается в несколько раз, что неприемлемо для медицинского применения.

Из теории фотометрии [6] известно, что равномерное распределение потока излучения в объеме обеспечивает фотометрический шар за счет многократного отражения излучения от внутренних стенок. Если стенки шара имеют одинаковый коэффициент отражения ρ , и в шар поместить точечный источник, излучающий поток Φ , Вт/стер., то облученность внутренней поверхности $E_{обл}$, поверхности может быть определена как

$$E_{обл} = E_{ист} + E_{отр}, \quad (2)$$

где $E_{ист}$ – облученность, которую источник создает в данной точке поверхности шара только за счет излучения источника (в предположении, что поверхность шара не отражает излучение); E_{omp} – облученность, создаваемая за счет многократного отражения излучения от стенок шара.

При этом первично отраженный от стенок шара поток $\rho\Phi$ создает во всех точках однородную освещенность

$$E_{omp1} = \frac{\rho\Phi}{4\pi R^2}, \quad (3)$$

где R – радиус шара.

Проводя аналогичные вычисления для второго, третьего и последующих отражений, получаем результирующее значение дополнительной облученности

$$E_{omp} = \sum_1^{\infty} E_{ompi} = \frac{\Phi}{4\pi R^2} \frac{\rho}{1-\rho}. \quad (4)$$

Следовательно, результирующая облученность в произвольной точке идеального фотометрического шара при точечном источнике излучения будет однородной.

Совершенно очевидно, что при реальном неточечном источнике облучения, неидеальном шаре, наличии рабочих отверстий, через которые теряется часть потока и ради которых и стоит шар, однородность распределения облученности не обеспечивается.

Однако для решаемой задачи создания бестеневого поля данное ограничение не является определяющим, поскольку многократные отражения от стенок обеспечивают бестеневое, хотя и совсем однородное поле.

Более того, наличие внутри шара затеняющих объектов – людей, ради которых и создается это облучающее поле, переводит акцент разработки от однородности к не затененности и возможности управления облученностью в этом пространстве.

Конструкция камеры. Реальные производственные и медицинские помещения никогда не имеют форму шара. Возникает потребность, используя полезные свойства фотометрического шара, трансформировать форму отражающих поверхностей таким образом, чтобы способствовать формированию бестеневого инфракрасного поля.

Поскольку при приеме процедур в камере пелоидотерапии люди обычно находятся в вертикальном положении, то можно ограничиться цилиндрической оптикой, т.е. вытянуть шар в эллипс и использовать его центральную часть. Это позволяет использовать не точечные, а линейные излучатели с более высокими показателями энергетической способности.

Рассмотрим типичное помещение прямоугольной формы, в котором необходимо создать бестеневое инфракрасное поле (рис. 4). Для того, чтобы получить параллельный пучок от точечного излучателя отражатель должен иметь форму параболы с фокусом в положении излучателя (левая часть рис. 4).

Парабола описывается уравнением второго порядка

$$y = ax^2 + b^x + c$$

и его график может быть построен по трем точкам для конкретного помещения. Основным недостатком такой конструкции инфракрасной камеры является то, что значительная часть помещения (верхняя левая часть рисунка за параболой) не может быть использована по прямому производственному назначению.

Кривую отражателя можно аппроксимировать полиномом первого порядка (набором отрезков), выбрав размер элемента соответственно требуемой точности.

Тогда часть параболы левой части рис. 4 будет представлять собой отрезки прямых, угол наклона элемента которых определяется законами отражения геометрической оптики. Очевидно, что нормальность отраженного луча относительно стены, на которой расположен излучатель, будет выполняться только для центра отрезка.

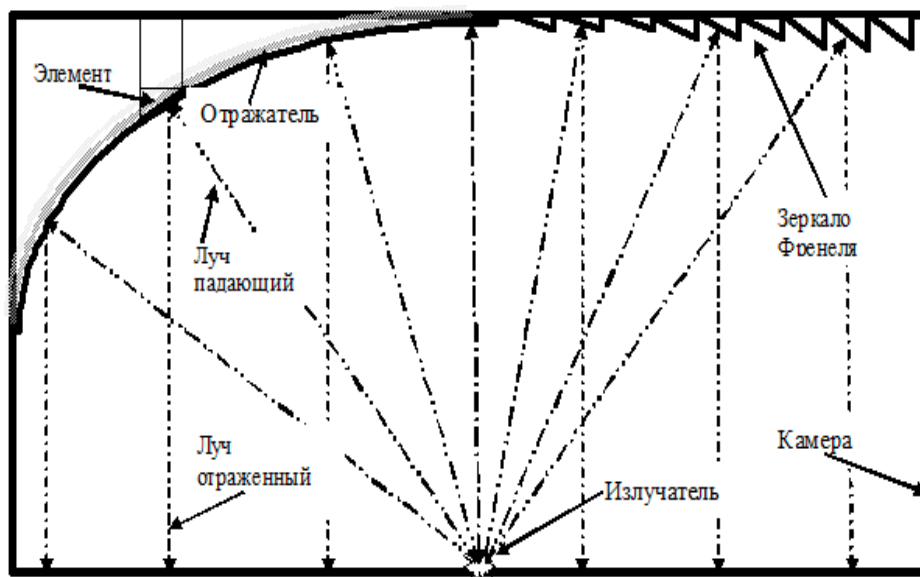


Рис. 4. Формирование планарного отражателя в помещении прямоугольной формы

Если мысленно сдвинуть элемент отражателя к стене за параболическим отражателем, то получим набор уголкового отражателя, которые можно считать планарным аналогом параболического отражателя, как это показано в правой верхней части рис. 4.

Каждый уголкового отражатель будет иметь свой угол наклона, рассчитать, который при известных размерах элементов не представляет труда.

Более того, при изготовлении конструкции инфракрасной камеры вместо излучателя можно установить полупроводниковый лазер с возможностью поворота.

Направив пучок излучения в середину уголкового отражателя с известными координатами, можно по метке на противоположной стороне стены точно подстроить угол конкретного уголкового отражателя, что существенно упрощает юстировку полученного зеркала Френеля.

Достоинством такого подхода является то, что существенно экономится полезная площадь помещения, а алгоритм построения зеркала практически не зависит от формы помещения.

Расположив подобным образом зеркала Френеля на оставшихся стенах помещения (при необходимости) получим систему формирования параллельных пучков для всех четырех стен.

Добавив источники излучения, расположенный не в фокусе параболы, сдвинутый относительно основного влево или вправо по стене, получим отраженные потоки от зеркала, снижающие проблему затенения.

На рис. 5 представлена фотография камеры пелоидотерапии, в которой одна из стен выполнена в виде зеркала Френеля, а оставшаяся часть в виде цилиндрического зеркала.

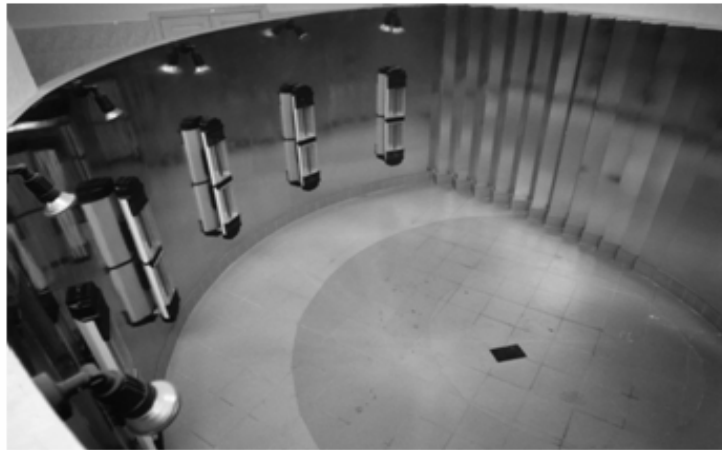
Инфракрасные излучатели на основе трубчатых элементов формируют рабочую зону проведения процедуры для 5-6 пациентов, в которой генерируется бестеневое инфракрасное поле.

На полу выделены зоны, предназначенные для разделения показанной тепловой нагрузки пациентов.

На фотографии видно, что верхняя и нижняя части левой стороны помещения не задействованы.

На рис. 6 представлена камера пелоидотерапии, выполненная в прямоугольном помещении, которой практически отсутствуют потери полезной площади.

Торцевой отражатель изготовлен в виде зеркала Френеля, боковые стены в виде цилиндрических зеркал и рассеивающих матовых поверхностей. Используются три вида излучателей: длинноволновые керамические, коротковолновые ламповые непрерывного и пульсирующего излучения, имеющие независимое управление, что позволяет управлять как излучаемой энергией, так и спектральным составом поля.



*Рис. 5. Камера пелоидотерапии
с угловыми и цилиндрическим отражателями*



*Рис. 6. Камера пелоидотерапии
с излучателями и отражателями смешанного типа*

Процедуры можно принимать как в стоячем положении, передвигаясь по назначению врача, сидя для пациентов с ограниченной подвижностью или при лечении позвоночника и суставов, так и лежа на кушетке. На стене расположена доска Евмилова для выполнения соответствующих процедур. В помещении камеры может одновременно принимать лечение до 6 человек.

Блок управления обеспечивает независимое управление группами керамических, ламповых излучателей в зависимости от медицинских предписаний для группы или отдельных пациентов.

Ламповые излучатели обеспечивают формирование коротковолнового излучения непрерывного и пульсирующего типов.

Выводы. На основании проведенного анализа и моделирования предложен подход к конструированию камер пелоидотерапии, заключающийся в формировании бестеневого инфракрасного поля за счет использования зеркал Френеля.

Данное решение позволило не только обеспечить возможность использования помещений произвольной формы, но существенно экономить полезную площадь.

К достоинству конструкции следует также отнести то, что юстировка системы не требует сложной технологии.

Камеры прошли апробирование при реализации методики Инфрпелоидотерапии, которая одобрена Ученым советом Украинского НИИ медицинской реабилитации и курортологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ланин В.Л. Инфракрасный нагрев в технологии пайки изделий электроники / В.Л. Ланин // *Электронная обработка материалов*. – № 5. – 2007. – С 91-96.
2. Романова Т.А. Фотометрический шар: Современное применение старого изобретения / Т.А. Романова // *Изобретательство*. – Т.16. – № 4. – 2016. – С. 29-40.
3. Быстрицкий Д.Н. Электрические установки инфракрасного излучения в животноводстве / Д.Н. Быстрицкий, Н.Ф. Кожневникова, А.К. Лямцов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 145 с.
4. Лечебные грязи (пелоиды) Украины. Ч. 2 / Под общ. ред. М.В. Лободы, К.Д. Бабова, Т.А. Золоторевой, Е.М. Никипеловой. – К.: КИМ, 2007. – 336 с.
5. Деклараційний патент № 58051А (Україна). Спосіб пелюїдотерапії та камера для його здійснення / Є.О. Косоверов, М.М. Тищук, В.І. Мецєряков, Т.О. Веселкова.
6. Гуревич М.М. Фотометрия (теория, методы и приборы) / М.М. Гуревич. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с.

Стаття надійшла до редакції 08.09.2017