

УДК 528.7: 629.78

**Гнатовская А.А.**

Одесский государственный экологический университет

**Мещеряков Д.В.**

Одесская национальная академия пищевых технологий

**Черепанова Е.В.**

Одесский государственный экологический университет

## КОНЦЕПЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАННЫХ ИНФРАКРАСНОЙ СИСТЕМОЙ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

*В статье рассмотрена концепция преобразования данных в системе с биологической обратной связью, предназначенной для управления интенсивностью облучения человека инфракрасным полем. Показано, что формируемые человеком признаки лишь косвенно характеризуют реакции организма на плотность мощности излучения, что приводит к неопределенности формирования управляющих решений. Предложено использовать классификацию признакового пространства с последующей централизацией кластеров.*

**Ключевые слова:** инфракрасное облучение, информативные признаки, неопределенность, биологическая обратная связь.

**Постановка проблемы.** Инфракрасные системы облучения получили широкое распространение для обогрева производственных помещений, при окраске автомобилей, сушке керамики, пайке печатных плат, выращивании птенцов и т.п. Их применение позволило экономить энергию сравнительно с конвективным обогревом, поскольку осуществляется нагрев обрабатываемых поверхностей, а не объема, в котором они находятся. Одной из обязательных функций таких систем является управление плотностью мощности инфракрасного излучения, поскольку данный показатель в существенной мере определяет протекающие физические, химические, биологические процессы [1]. Системы данного типа в качестве исполнительных органов используют керамические, трубчатые или ламповые инфракрасные излучатели, реже лазеры.

Для достаточно простых объектов выбор плотности мощности излучения не вызывает сложности, поскольку их теплофизические параметры обычно известны и неизменны. При обогреве биологических объектов ситуация существенно меняется, поскольку теплофизические условия обогрева зависят от собственного тепловыделения, расположения объекта относительно источника, внешних условий [2]. Система терморегуляции теплокров-

ного животного самостоятельно поддерживает внутреннюю температуру на постоянном уровне путем баланса внутреннего тепловыделения и потерь во внешнюю среду независимо от изменений окружающей среды в широком диапазоне.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Существует два подхода построения систем с биологической обратной связью [3]:

1) кибернетический системный подход, использующий методы теории управления с исследованием идентификации биологических объектов в классе определенных математических моделей и вычислительных алгоритмов;

2) функциональный подход Анохина, связывающий в единое структуры живого организма, ответственные на афферентный синтез, принятие решения, эфферентные реакции и полезный приспособительный результат. Кибернетический подход удобен для построения биотехнических систем, поскольку позволяет воспользоваться всеми достижениями математического аппарата при формировании моделей, что полностью соответствует принципам построения технических информационных систем. Выделяют два класса динамических систем: стабилизирующие системы автоматического регулирования и адаптивные системы на основе многосвязного регулирования

[4]. Подход предполагает разработку эквивалентной модели, обеспечивающей объективное соответствие биологическому объекту, способную замещать объект и давать информацию, допускающую экспериментальную проверку адекватности. Очевидным достоинством такого подхода является совместимость выходных атрибутов имитируемого биологического объекта атрибутам технической системы. Основным недостатком имитационного моделирования при кибернетическом подходе является то, что измеряются выходные показатели физической модели, а не биологического объекта, свойства которых отличается.

В кибернетическом системном подходе основной упор делается на идентификацию и обеспечение адекватности разрабатываемой модели параметрам биологического объекта. Математическая модель биологического объекта с внешней средой строится двумя способами: при осознании механизма теплообмена уточнения причинно-следственных связей модели и корректировка модели по каузальным связям результатов эксперимента. Механизм терморегуляции теплокровных организмов предполагает постоянство внутренней температуры объекта за счет баланса активного производства тепловой энергии и рассеивания во внешнюю среду. Верхний диапазон температуры +41°C ограничен гибелью нервных клеток, нижний – снижением активности ферментов, приводящий к невозможности функционирования биологической системы. Дополнение математической модели физической моделью биологического объекта [2; 5] позволяет скорректировать модель относительно условий эксплуатации, конструктивных особенностей, влияния внешних факторов, в результате чего получить выходные количественные показатели, удовлетворяющие показателям информационной системы. Очевидно, что такая модель, полученная по усредненным показателям, удовлетворяет задачам обеспечения тепловых режимов при выращивании больших партий птенцов и молодняка животных в искусственных условиях.

В системах, где в цепи биологической обратной связи находится человек, ситуация меняется. Появляется новая трактовка целевой функции – «комфортное состояние», т.е. состояние системы, когда для баланса выделение во внешнюю среду количества тепловой энергии достигается без перенапряжения аппарата терморегуляции биологического объекта [6]. При этом ощущаемая температура зависит не только от термодинамической температуры внешней среды, но и неравномерно-

сти теплопередачи различных участков биологического объекта, скорости обтекания воздушным потоком, влажности. Принципиальным является то, что целевая функция приобретает многозначность, поскольку зависит не только от термодинамического равновесия с внешней средой, но и от предыстории процесса, особенностей организма, психологического настроения и т.п. Формализовать такую целевую функцию крайне сложно [7]. Вместе с тем техническая система управления реагирует только на формализованные решения, что составляет проблему. Для медицинских приложений математическая модель, полученная по усредненным параметрам, может служить только базовой моделью, поскольку управление должно осуществляться для конкретного пациента.

**Формулирование целей статьи.** Целью работы является разработка концепции преобразования выходных признаков биологического объекта, находящегося в цели обратной связи инфракрасной системы пелоидотерапии.

**Изложение основного материала.** Общая теория функциональных систем Анохина связывает кибернетические и метаболические функции организма [3]. Объединение всех узловых механизмов функциональной системы определяет полезный приспособительный результат ее деятельности. Воспринимаемое рецепторами раздражение поступает в нервные центры и избирательно вовлекает в действие элементы исполнительной деятельности, направленной на восстановление потребного для метаболизма результата. Процесс обработки информации от раздражителей и внутренней среды приводит к принятию решения, которая имеет индивидуальную вариабельность в зависимости от состояния вегетативных и соматических функций.

В отличие от технических систем, разброс выходного измеряемого признакового пространства, обусловленного входным раздражением, оказывается не только более значительным, но и зависящим от внутреннего состояния организма. Вместе с тем получаемое признаковое пространство индивидуально и характеризует конкретного человека, что отличает его от реакции модели при кибернетическом подходе.

Из теории автоматического управления следует, что процесс управления включает три основных составляющих:

1. Сбор информации, достаточной для формализации объекта управления.
2. Принятие решений для выработки управляющего действия.

### 3. Реализация управляющего воздействия.

Особенность сбора информации о состоянии пациента состоит в том, что используемые методы не могут быть инвазивными, должны обеспечивать возможность получения информации в реальном времени, поскольку она используется для управления. Это существенно ограничивает информативность сбора данных о состоянии объекта и сводит перечень к частоте сердечных сокращений, электроэнцефалограмм, дыхания, сопротивлению кожного покрова, поверхностной температуре эпидермиса, фиксации начала и интенсивности потовыделения [8].

Реализация управляющего воздействия в виде интенсивности инфракрасного излучения осуществляется керамическими, трубчатыми или ламповыми излучателями. Общим для них является то, что интенсивность излучения связана с электрической мощностью, протекающей через эти излучатели. Учитывая существенную инерционность керамических и трубчатых излучателей, наиболее простым и эффективным способом управления интенсивностью нагрева можно признать широтно-импульсную модуляцию с симисторным коммутатором.

Принятие решения для выработки управляющего воздействия является наиболее сложной функциональной частью системы с биологической обратной связью. В общем случае достижение определенной цели управления достигается анализом альтернативных вариантов достижения наибольшей эффективности по определенному критерию. Процесс поиска наилучшего варианта решения включает этапы выбора рационального из существующих вариантов и выбора наилучшего варианта из допустимого множества. Очевидно, что для решаемой задачи невозможно получение независимых альтернатив, связанных с взаимобусловленностью функционирования всех органов человека, неопределенностью и ограниченностью выходных признаков, явно недостаточных для полного описания объекта. Решения должны приниматься в условиях неопределенной ситуации при недостаточности информации, при этом решение для управления должно приниматься в реальном масштабе времени.

Неопределенность возникает также вследствие недостатка знаний о процессах, протекающих в биологическом объекте, невозможности отслеживания причинно-следственных связей, приведших к данному результату, противоречивости выходных признаков как реакции на стандартное воздействие, неполноты и неточности

выходной информации. Решение, полученное при таких условиях, очевидным образом несет в себе риск качества управления. Выбор альтернатив должен предполагать наличие влияния внешнего стабилизирующего признака, основанного на предыдущем опыте в соответствии с теорией функциональных систем Анохина. При длительном формировании такого внешнего стабилизирующего признака для конкретного человека решение может приближаться к оптимальному, что подтверждается действиями биологических систем при взаимодействии с внешней средой [9]. Очевидно, что для рассматриваемой ситуации использования пациента в цепи обратной связи для управления интенсивностью инфракрасного облучения не выполняется как условие использования только конкретного человека, так и условие большой длительности процесса обучения. Для реальных медицинских систем пелоидотерапии процесс лечения производится в течение короткого времени (порядка 30 минут) для случайного, с точки зрения системы, пациента. Проведенный анализ и экспериментальные исследования показали, что наиболее представительными процессами и приемлемыми признаками по критериям информативности и доступности являются:

1. Повышение периферического кровотока для отведения излишков поступающего извне тепла, которое может быть косвенно представлено сопротивлением кожного покрова  $R_k$ .

2. Повышение общего кровотока для отведения излишков поступающего извне тепла, которое косвенно может быть представлено частотой сердечных сокращений  $V_o$ .

3. Температура эпидермиса кожного покрова при облучении инфракрасным полем, создающая перепад температуры с внутренним объемом тела  $T_k$ , которая может быть измерена инфракрасным пирометром.

4. Теплоотдача избыточной энергии за счет органов дыхания, выраженная через частоту дыхания  $V_d$ .

Каждый из приведенных показателей может измеряться от 10 до 60 раз в минуту, а учитывая длительность эксперимента в 15–30 минут, применимость статистических методов становится очевидной. Одной из статистических процедур является кластерный анализ – многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов, и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы [10]. Он используется в случаях, когда отсутствуют априорные гипотезы

относительно классов. Учитывая относительную независимость признаков, целесообразно выбрать фасетную систему классификации, в которой каждый фасет содержит совокупность однородных значений каждого классификационного признака.

Для формализации критерия «комфортное состояние» пациента разделим зоны инфракрасного воздействия на пять уровней:

- 1) холодный – ощущается дискомфорт вследствие недостатка тепла;
- 2) умеренно теплый – начало снижения сопротивления кожного покрова;
- 3) теплый – активное сопротивление кожи и слабое потовыделение;
- 4) очень теплый – обильное потоотделение;
- 5) горячий – температурный дискомфорт, резкое повышение частоты сердечных сокращений.

Такое условное деление позволяет перейти от качественного описания целевой функции к нечеткому количественному представлению. Третий уровень, соответствующий условиям проведения медицинских процедур, становится областью существования формализованной целевой функции системы управления интенсивностью инфракрасного облучения. Трансформация обеспечивает возможность привлечения математического аппарата нечеткой логики, кластерного анализа для определения принадлежности признакового пространства заданному уровню, элементов теории принятия решений для выработки управляющих воздействий на источники инфракрасного излучения.

Известны различные способы кластеризации, однако, учитывая особенность исходной информации, для системы с биологической обратной связью предпочтителен алгоритм нечеткой кластеризации. В качестве аналитической зависимости расчета нормальной меры подобия по расстоянию можно воспользоваться взвешенной метрикой Евклида, а в качестве оценочной функции качества – коэффициент разбиения, энтропия разбиения [11]. Учитывая ограниченность

входной информации, разбиение на кластеры может приводить к некорректным результатам, соответственно и энтропия разбиения не позволяет сравнивать различные решения. Это требует доработки алгоритма нечеткой кластеризации, выделения наиболее значимого кластера, относящегося к активной фазе лечебного процесса.

Последовательность преобразования данных в инфракрасной системе пелоидотерапии с биологической обратной связью принимает вид:

- анализ информации, получаемой в качестве признакового пространства относительно реакции на тестовые энергетические воздействия;
- анализ метода нечеткой кластеризации для анализа нечетких данных и определения центров кластеров, расстояния между центрами;
- модернизация метода нечеткой кластеризации применительно к обработке выходных признаков биологических объектов;
- предложить методику формирования автоматической оценки состояния интенсивности инфракрасного излучения относительно состояния пациента;
- оценка работоспособности системы при обработке теста, корректировка алгоритма обработки;
- обработка реального объекта инфракрасной системой пелоидотерапии с биологической обратной связью;
- оценка эффективности предложенных подходов.

#### **Выводы.**

1. Обоснована концепция обработки выходных неинвазивных признаков человека, находящегося в цепи биологической обратной связи, при воздействии инфракрасного излучения различной интенсивности.

2. Представлена последовательность преобразования данных для обеспечения формирования интенсивности инфракрасного излучения, обеспечивающего комфортные условия проведения процедуры инфракрасной пелоидотерапии.

**Список літератури:**

1. Ланин, В.Л. Инфракрасный нагрев в технологии пайки изделий электроники. Электронная обработка материалов. № 5, 2007. С 91–96.
2. Дубровин А.В. Автоматизированная электротехнология централизованного локального и общего обогрева в птицеводстве. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: 2004. 446 с.
3. Акулов, С.А. Федотов А.А. Основы теории биотехнических систем. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. 259 с.
4. Moore, J. Biomedical technology and devices. Handbook. Edited by J. Moore. CRC Press LLC, 2004. 750 с.
5. Медведев И.Н. Физиология мышечной и нервной. Лань, 2015. 176 с.
6. Плоткин, Ф.Б. Компьютерное биоуправление: прогрессивные технологии – в практику здравоохранения. Минск: Новые технологии в медицине, 2012. С. 106–110.
7. Сороко С.И., Трубачев В.В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. СПб.: ИЭФБ РАН, 2010. 607 с.
8. Деклараційний патент № 58051А (Україна). Спосіб пелоїдотерапії та камера для його здійснення. Косоверов Є.О., Тищук М.М., Мещеряков В.І., Веселкова Т.О.
9. Анохин, П.К. Узловые вопросы теории функциональных систем. М.: Наука, 1980. 197 с.
10. Олдендерфер М.С., Блэшфилд Р.К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
11. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1993. 432 с.

**КОНЦЕПЦІЯ ПЕРЕТВОРЮВАННЯ ДАНИХ ІНФРАЧЕРВОНОЮ СИСТЕМОЮ З БІОЛОГІЧНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ**

*У статті розглянута концепція перетворення даних у системі з біологічним зворотнім зв'язком, призначеної для управління щільністю опромінювання людини інфрачервоним полем. Показано, що сформовані людиною ознаки лише побічно характеризують реакції організму на щільність потужності випромінювання, що призводить до невизначеності формування управляючих рішень. Запропоновано використовувати класифікацію простору ознак з подальшою централізацією кластерів.*

**Ключові слова:** *інфрачервоне випромінювання, інформаційні ознаки, невизначеність, біологічний зворотній зв'язок.*

**CONCEPT OF INFRARED SYSTEM WITH BIOLOGICAL FEEDBACK DATA TRANSFORMATION**

*The article elucidates the concept of data conversion in a system with biological feedback intended for controlling the intensity of human irradiation by an infrared field. It is shown that the characteristics performed by a person only indirectly characterize the reactions of the organism to the density of irradiation, which leads to uncertainty in the formation of managing decisions. It is proposed to use the classification of space characteristics with the subsequent centralization of clusters.*

**Key words:** *infrared irradiation, informative signs, uncertainty, biological feedback.*