

Болдырев В. В., Горькавый М. А.  
РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМОЙ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

**Болдырев В. В., Горькавый М. А.**  
**V. V. Boldyrev, M. A. Gorkavyu**

**РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМОЙ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ**

**DEVELOPMENT OF AN INTELLECTUAL CONTROL MODULE OF AUTOMATED  
AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM**

**Болдырев Владислав Вячеславович** – аспирант кафедры управления инновационными процессами и проектами Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: Boldurev16@gmail.com.

**Mr. Vladislav V. Boldyrev** – Post-Graduate Student, Management of Innovative Processes and Projects Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-na-Amure). Email: Boldurev16@gmail.com.

**Горькавый Михаил Александрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой управления инновационными процессами и проектами Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: Uipp@knastu.ru.

**Mr. Mikhail A. Gorkavyu** – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Management of Innovative Processes and Projects, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-na-Amure). Email: Uipp@knastu.ru.

**Аннотация.** В работе предложена структура, на основе которой возможна реализация интеллектуального модуля управления автоматизированной автономной системой энергообеспечения, работающей с  $n$ -м количеством источников теплового излучения, расположенных в среде со сложной инфраструктурой, предложена функциональная схема, отображающая взаимосвязь между параметрами внешней среды и элементами объекта управления с целью определения ограничений при синтезе законов управления, направленных на оптимизацию работы систем энергообеспечения, предложена декомпозиция функциональной схемы, отображающая объекты имитационной модели для расчёта потребления преобразованной энергии, полученной излучением от источника, а также представлена реализация части интеллектуального модуля управления – системы оценивания потенциала источников теплового излучения, реализованной на базе нечёткой логики.

**Summary.** The paper proposes a structure on the basis of which it is possible to implement an intelligent control module for an energy supply system working with the  $n$ -number of heat radiation sources located in an environment with a complex infrastructure; a functional diagram is proposed that displays the relationship between the parameters of the external environment and the elements of the control object in order to determine constraints in the synthesis of control laws aimed at optimizing the operation of energy supply systems, a decomposition of a functional diagram is proposed that displays the objects of a simulation model for calculating the consumption of converted energy received by radiation from a source, and also presents realizations, parts of an intelligent control module – a system for assessing the potential of heat radiation sources, implemented on the basis of fuzzy logic.

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы управления, алгоритмы оптимизации, технические системы, системы энергообеспечения, нечёткий вывод, управление техническими объектами и системами.

**Key words:** intelligent control systems, optimization algorithms, technical systems, energy supply systems, fuzzy inference, management of technical objects and systems.

УДК 62-6:62-69

На современном этапе развития технологий чётко сформировались и продолжают укрепляться тенденции развития альтернативной энергетики, позволяющей снизить нагрузку на традиционные ресурсы планеты, обеспечить снижение негативной экологической обстановки и генерировать энергию на труднодоступных территориях. Одним из перспективных направлений развития

альтернативной энергетики является разработка автономных систем энергообеспечения на базе солнечных коллекторов. Помимо значительного числа преимуществ таких систем системы на базе солнечных коллекторов имеют и недостатки, основным из которых является невысокий КПД. Применительно к таким системам определяющими факторами конечного значения КПД являются эффективность фотоэлемента или вакуумной трубки (в случае вакуумного солнечного коллектора) и эффективность системы преобразования энергии.

Исследования в области повышения эффективности рабочего элемента солнечного коллектора ведутся специалистами крупных корпораций и отдельными учёными, результаты некоторых из них представлены в [14; 15]. Тем не менее все достижения в части эффективности конечных элементов могут быть полностью нивелированы потерями низкоэффективной подсистемы преобразования энергии автономной системы энергообеспечения. Поэтому проблема обеспечения оптимальных условий для получения максимального эффекта работы фотоэлементов или вакуумной трубки является весьма актуальной и может быть решена за счёт разработки оптимальных алгоритмов управления процессом преобразования.

Дополнительным стимулом в поиске решений по повышению эффективности системы преобразования энергии (далее гелиосистемы) является возможность на базе полученных алгоритмов улучшить уже существующие и внедрённые в эксплуатацию местные системы отопления, что обеспечит снижение срока окупаемости и повысит КПД, т.к. гелиосистемы, доступные на рынке, функционально ограничены в части адаптации к изменяющимся условиям внешней среды и не позволяют получить максимальный эффект от преобразования энергии [5; 13].

Таким образом, приоритетной задачей по повышению КПД систем энергообеспечения, является разработка автоматизированной системы управления, включающей в себя информационно-сенсорные, оптимизационные и прогнозирующие модули и контролирующей исполнительные устройства, корректирующие положение рабочего органа (панели) в пространстве в зависимости от изменений значений внешних факторов.

При формировании системы управления необходимо учитывать имеющийся аппаратный комплекс: так, можно выделить подвижные преобразователи, ориентирующиеся непосредственно на источник излучения [1], и преобразователи, меняющие положение рабочей поверхности по фиксированному алгоритму [3]. Первые способны адаптироваться к изменениям параметров внешней среды, но затрачивают дополнительную энергию (движение исполнительных устройств). Вторые же абсолютно индифферентны к градиенту излучения источников внешней среды. Каждая из двух представленных стратегий реализации системы управления эффективна в своём сегменте. Системы с программируемым алгоритмом перемещения эффективны в ситуациях, когда средняя мощность излучения источников достаточно высока, системы основанные на принципе слежения эффективны в ситуациях, когда необходимо максимизировать сбор энергии излучения в условиях нестабильности внешней среды. Адаптивные управляющие системы коллекторов являются более сложным, но и более универсальным решением [7].

Для поиска эффективных законов управления авторами был агрегирован список входных параметров, приведённых в табл. 1 (в том числе факторов внешней среды), которые могут оказать влияние на КПД системы энергообеспечения.

Представленный в табл. 1 список параметров, оказывающих влияние на эффективность гелиосистемы, не является исчерпывающим [9], необходимость учёта всего объёма представленных параметров определяет высокую степень сложности законов управления. Для этого предлагается использовать систему управления, представленную на рис. 1, имеющую в своем составе имитационную модель, интеллектуальные алгоритмы вывода, построенные на базе нейро-нечётких подсистем [11; 12], модуль прогнозирования целесообразности принятия конкретного управляющего решения, базы знаний и пользовательского интерфейса.

Таблица 1

Список параметров, оказывающих влияние на эффективность гелиосистемы

Наименование параметра	Единица измерения	Характеристика влияния на эффективность системы энергообеспечения	Степень влияния на эффективность системы
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1. Угол наклона рабочей поверхности коллектора к нормали	°	Определяет значение углового коэффициента	Средняя
2. Средняя мощность излучения в год	Дж/м <sup>2</sup> *с	Определяет потенциал генерации энергии	Высокая
3. Максимально возможное значение температуры внешней среды	°С	Определяет потенциал применимости гелиоустановки, её конфигурацию и режимы работы, ограничивающие максимальное и минимальное количество преобразуемого тепла в единицу времени	Средняя
4. Минимально возможное значение температуры внешней среды	°С		Высокая
5. Порог чувствительности полупроводника	лм*Гц <sup>-1/2</sup>	Определяет конфигурацию солнечной панели и её производительность	Ниже средней
6. Оптический КПД абсорбера	%	Влияет на удельную производительность вакуумного солнечного коллектора	Высокая
7. Площадь рабочей поверхности	м <sup>2</sup>	Влияет на удельную производительность преобразователя и габариты системы преобразователей	Высокая
8. Степень черноты объекта, участвующего в передаче энергии излучением	%	Определяет эффективность процесса передачи энергии от источника к преобразователю	Выше средней
9. Температура источника	°С	Определяет количество тепла, передаваемого от более нагретого тела (источника) к менее нагретому (преобразователю)	Высокая
10. Диапазон спектральной чувствительности полупроводника в преобразователе (λmax)	мкм	Определяет зону спектра для эффективного преобразования энергии	Выше средней
11. Длина волны излучения источника энергии	мкм	Определяет способность преобразователя реагировать на излучение	Ниже средней
12. КПД трансформатора тока	%	Влияет на количество потерь полезной энергии в процессах преобразования электромагнитного излучения в электричество, а затем в тепло	Ниже средней
13. КПД трубчатого электронагревателя	%		Низкая
14. КПД аккумулятора	%		Низкая
15. Расстояние между источником и преобразователем	м	Влияет на эффективность процесса передачи энергии излучением в среде с заданной температурой	Выше средней
16. Угловой коэффициент	-	Влияет на эффективность процесса передачи энергии излучением с учётом положения источника и преобразователя в пространстве	Высокая



Продолжение табл. 1

1	2	3	4
17. Время суток	ч	Определяет количество преобразуемой энергии от Солнца	Высокая
18. Продолжительность процесса излучения тепла от источника к преобразователю	с	Определяет количество преобразуемой энергии от нагретых объектов	Высокая
19. Взаимное излучение источника и преобразователя	Вт/(м <sup>2</sup> ·К <sup>4</sup> )	Определяет часть лучей, дошедших от более нагретого тела к менее нагретому телу, находящихся в пространстве на расстоянии, поверхности которых параллельны и площади которых приблизительно соизмеримы	Высокая
20. Тепловое излучение объекта на единицу времени	Дж/м <sup>2</sup> *с	Влияет на эффективность процесса передачи энергии излучением в среде с заданной температурой	Высокая
21. Работа по преобразованию в электрическую энергию	Дж	Определяет общую эффективность системы теплообеспечения после преобразовании электричества в тепло	Высокая
22. Работа по преобразованию в тепловую энергию	Дж	Определяет общую эффективность системы теплообеспечения	Высокая
23. Полное количество теплоты	Дж	Определяет потенциал количества преобразуемой энергии, полученной в результате излучения нагретым телом	Высокая
24. Мощность оборудования для потребления тепла	Вт	Определяет минимальную производительность системы энергообеспечения для соответствия нормам по отоплению помещений	Высокая
25. Мощность оборудования, участвующего в процессе преобразования электричества в тепло	Вт	Определяет минимальную производительность системы преобразования электричества в тепло	Высокая
26. Потребление тепла в единицу времени	кал*ч	Влияет на запас нагретого жидкого теплоносителя внутри системы теплоснабжения	Средняя
27. Потребление электричества в единицу времени	Вт*ч	Влияет на запас преобразованного электричества	Ниже средней

Задающее воздействие (например, требуемая температура помещения, °С) средствами модуля «Интерфейс пользователя» преобразуется в значение параметра, характеризующего производительность системы (например, потребление тепла в единицу времени, кал\*ч), и направляется на блок синхронизации, где формируется последовательность операций для обеспечения значений параметров системы энергообеспечения, соответствующих задающему воздействию. В начале последовательности производится сравнение значений параметров объекта управления с требуемыми значениями производительности. В случае выполнения равенства модуль управления обеспечит поддержание текущего состояния до следующего задающего воздействия. Кроме задающего воздействия на состояние равенства действуют внешние факторы, определяемые результатами измерений и оценки, синтезированными информационно-сенсорными модулями, и выраженные значениями параметров объекта управления и внешней среды.

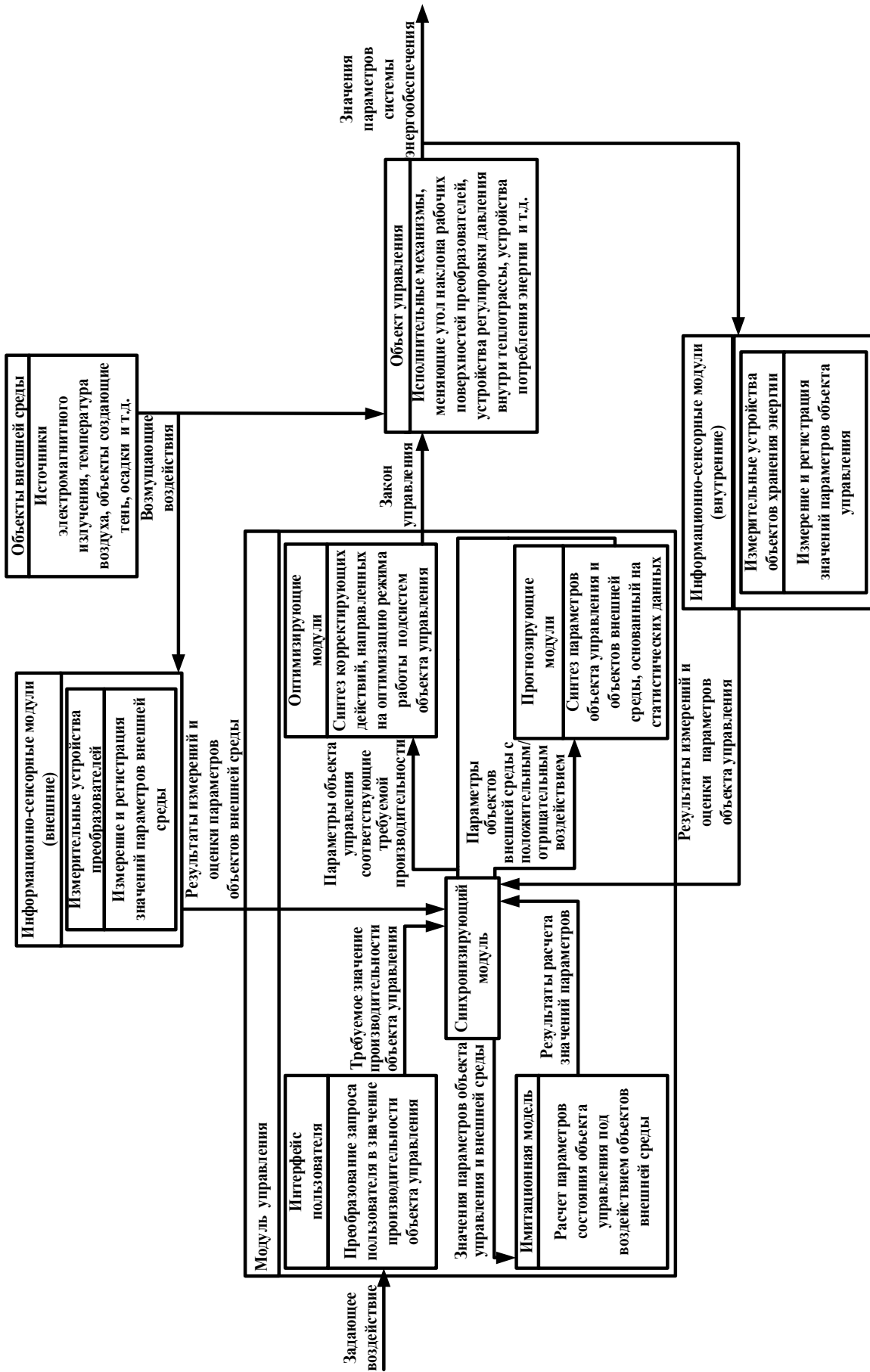


Рис. 1. Структура системы управления

Затем выполняется определение характера и степени влияния внешнего воздействия, и в случае высокой степени влияния задействуется имитационная модель, позволяющая рассчитать параметры состояния объекта управления под воздействием объектов внешней среды. Полученные результаты расчёта повторно проверяются на соответствие равенству, сохраняются в прогнозирующем модуле, после чего определяется следующая операция, связанная с оптимизирующими модулями. Входом для оптимизирующих модулей являются параметры объекта управления, соответствующие требуемой производительности, при этом они могут быть получены от прогнозирующего модуля без задействования дополнительных вычислительных мощностей для имитационной модели. В результате последовательности операций модуля управления синтезируется закон управления объектом управления, содержащим регулируемые объекты для обеспечения оптимального взаимодействия с объектами внешней среды.

Одной из наиболее важных задач по оптимизации работы системы энергообеспечения является минимизация затрат невозполняемой энергии, поэтому модуль управления содержит имитационную модель, направленную на расчёт параметров состояния объекта управления под воздействием внешних факторов. Назначение модели – это сокращение затрат дополнительных ресурсов за счёт сокращения дискретности регулировок подсистем объекта управления. Структурно-функциональная схема имитационной модели представлена на рис. 2.

Имитационная модель объединяет параметры объектов, участвующих в процессе преобразования электромагнитного излучения в тепло. Математическая модель позволяет вычислить количество потреблённой энергии, преобразованной от конкретного источника в определённых условиях среды распространения электромагнитного излучения. В условиях бесконечного количества регистрируемых параметров меняющихся внешних условий необходимо оптимизировать нагрузку вычислительной мощности имитационной модели. Поэтому необходима первичная оценка степени влияния внешнего воздействия на объект управления.

Одним из ключевых воздействующих факторов является действие источника излучения на производительность преобразователя. Наибольшее влияние оказывают источники с очень «хорошими» и очень «плохими» показателями. Оценка потенциала источника выполняется для разнородных источников (количество регистрируемых источников ограничено количеством измерительных устройств), при этом система распознаёт источник не как физический объект, а как плоскость в пространстве с определёнными регистрируемыми параметрами. Параметры отображают потенциал источника (температуру), доступность для передачи энергии излучением (угловой коэффициент) и чувствительность (способность к преобразованию излучения в электричество) к источнику рабочей поверхности преобразователя (длина волны излучения). Источником с наилучшим потенциалом является тот, который позволит нагреть жидкий теплоноситель. Поэтому он должен иметь температуру около  $80^{\circ}\text{C}$ , быть прямо направленным на центр преобразователя и быть на минимальном расстоянии (угловой коэффициент больше единицы), иметь длину волны излучения в пределах от 1450 до 1500 нм. Отклонение от этих параметров снижает оценку потенциала источника для жидкого теплоносителя, но может повысить её для преобразователей с полупроводниками. Таким образом данная система оценивания потенциала позволит сформировать рейтинг источников, параметры которых будут положительно влиять на объект управления. Определять «хорошие» и «плохие» источники предложено с применением нечёткой логики. Нечёткий логический вывод работает с функциями принадлежности значений параметров, отображающих высокий и низкий потенциал характеристик источников для гибридных преобразователей (на основе полупроводников и с жидким теплоносителем).

В табл. 2 приведена характеристика системы нечёткого логического вывода на основе алгоритма Мамдани для оценки потенциала источника теплового излучения.

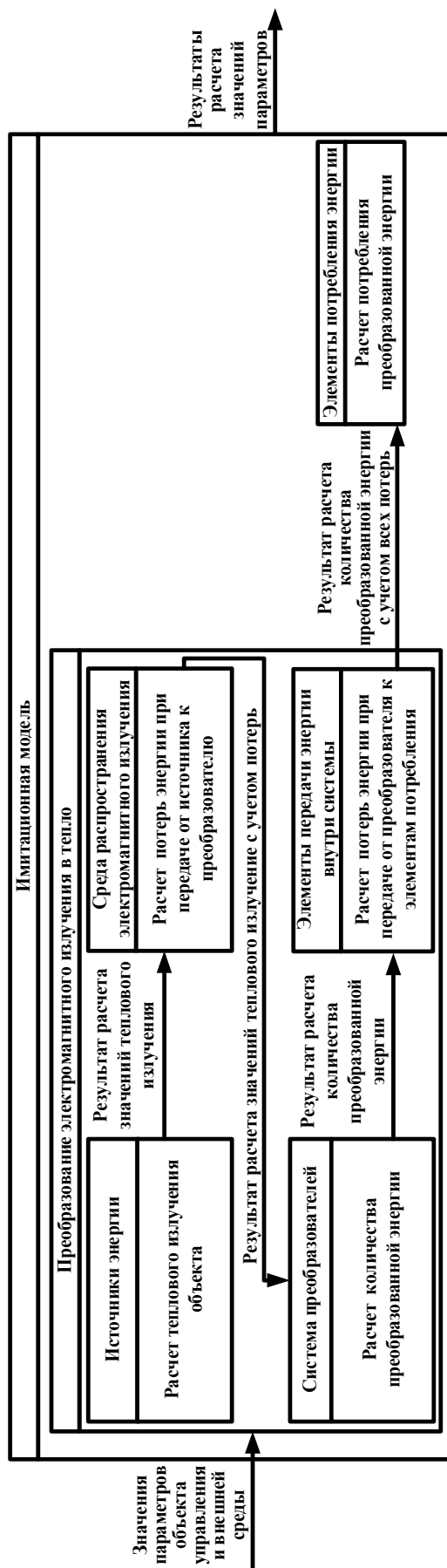


Рис. 2. Структурно-функциональная схема имитационной модели



Таблица 2

Система нечёткого логического вывода на основе алгоритма Мамдани  
«Оценка потенциала источника теплового излучения»

<b>Общие характеристики</b>				
Метод расчёта	Количество входов	Количество выходов	Количество правил	Характеристика логических операторов
Алгоритм Мамдани	3	1	75	AndMethod=min OrMethod=max ImpMethod=min AggMethod=max DefuzzMethod=centroid
<b>Характеристика выхода системы</b>				
Наименование выхода	Диапазон значений	Характеристики функций принадлежности MF <sub>выход</sub>		
Оценка потенциала источника	От 2 до 5 баллов	MF1='Низкий_потенциал':trimf, [1.9 2 3] MF2='Средний_потенциал':trimf, [3.6 4 4.2] MF3='Высокий_потенциал':trimf, [4.5 4.99 5.1] MF4='Ниже_среднего_потенциал':trimf, [2.9 3.1 3.7] MF5='Выше_среднего_потенциал':trimf, [4.1 4.6 4.7]		
<b>Характеристики входов системы</b>				
Наименование выхода	Диапазон значений	Характеристики функций принадлежности MF <sub>вход</sub>		
Вход No 1: Температура источника	От 10 до 100° С	MF1='Низкая':trimf, [1 10 20] MF2='Средняя':trimf, [36.5 36.5 55] MF3='Высокая':trimf, [70 100 150] MF4='Ниже_средней':trimf, [18 20 40] MF5='Выше_средней':trimf, [48 70 72]		
Вход No 2: Угловой коэффициент	От -1 до 2 без единиц измерения	MF1='>0':trapmf, [-1 -1 0 0.1] MF2='0-1':trimf, [0 1 1.5] MF3='1<':trimf, [1.2 2 3]		
Вход No 3: Длина ИК-волны	От 0.4 до 3 мкм	MF1='Наивысший_потенциал_для_кремниевого_преобразователя':gauss2mf,[0.2 1.1 0.03 1.1] MF2='Наивысший_потенциал_для_нагрева_жидкого_теплоносителя':trapmf,[1.35 1.4 1.45 1.55] MF3='Наивысший_потенциал_для_композитного_преобразователя':trapmf,[0.795 1.9 1.9 2] MF4='Излучение_тел_нагретых_более_100_градусов_цельсия':trimf,[2.5 3 3] MF5='Слепая_зона':trapmf,[1.95 1.98 2.5 2.55]		
<b>Синтаксис правил</b>				
Порядок входов	Номер функции принадлежности входа	Номер функции принадлежности выхода	Структура правила	
No 1 No 2 No 3	MF <sub>вход</sub> – от 1 до 5	MF <sub>выход</sub> – от 1 до 5	1MF <sub>вход</sub> 2MF <sub>вход</sub> 3MF <sub>вход</sub> , MF <sub>выход</sub> (вес правила): выполнение	



**Правила в индексном формате**

1) 1 1 1, 1 (1) : 1	18) 3 1 4, 1 (1) : 1	35) 2 2 5, 1 (1) : 1	52) 1 3 2, 4 (1) : 1	69) 4 3 4, 1 (1) : 1
2) 2 1 1, 1 (1) : 1	19) 4 1 4, 1 (1) : 1	36) 3 2 1, 5 (1) : 1	53) 1 3 3, 4 (1) : 1	70) 4 3 5, 1 (1) : 1
3) 3 1 1, 1 (1) : 1	20) 5 1 4, 1 (1) : 1	37) 3 2 2, 2 (1) : 1	54) 1 3 4, 1 (1) : 1	71) 5 3 1, 5 (1) : 1
4) 4 1 1, 1 (1) : 1	21) 1 1 5, 1 (1) : 1	38) 3 2 3, 5 (1) : 1	55) 1 3 5, 1 (1) : 1	72) 5 3 2, 3 (1) : 1
5) 5 1 1, 1 (1) : 1	22) 2 1 5, 1 (1) : 1	39) 3 2 4, 5 (1) : 1	56) 2 3 1, 2 (1) : 1	73) 5 3 3, 5 (1) : 1
6) 1 1 2, 1 (1) : 1	23) 3 1 5, 1 (1) : 1	40) 3 2 5, 1 (1) : 1	57) 2 3 2, 2 (1) : 1	74) 5 3 4, 1 (1) : 1
7) 2 1 2, 1 (1) : 1	24) 4 1 5, 1 (1) : 1	41) 4 2 1, 4 (1) : 1	58) 2 3 3, 5 (1) : 1	75) 5 3 5, 1 (1) : 1
8) 3 1 2, 1 (1) : 1	25) 5 1 5, 1 (1) : 1	42) 4 2 2, 1 (1) : 1	59) 2 3 4, 1 (1) : 1	
9) 4 1 2, 1 (1) : 1	26) 1 2 1, 4 (1) : 1	43) 4 2 3, 4 (1) : 1	60) 2 3 5, 1 (1) : 1	
10) 5 1 2, 1 (1) : 1	27) 1 2 2, 1 (1) : 1	44) 4 2 4, 1 (1) : 1	61) 3 3 1, 3 (1) : 1	
11) 1 1 3, 1 (1) : 1	28) 1 2 3, 4 (1) : 1	45) 4 2 5, 1 (1) : 1	62) 3 3 2, 3 (1) : 1	
12) 2 1 3, 1 (1) : 1	29) 1 2 4, 1 (1) : 1	46) 5 2 1, 5 (1) : 1	63) 3 3 3, 3 (1) : 1	
13) 3 1 3, 1 (1) : 1	30) 1 2 5, 1 (1) : 1	47) 5 2 2, 2 (1) : 1	64) 3 3 4, 3 (1) : 1	
14) 4 1 3, 1 (1) : 1	31) 2 2 1, 2 (1) : 1	48) 5 2 3, 2 (1) : 1	65) 3 3 5, 1 (1) : 1	
15) 5 1 3, 1 (1) : 1	32) 2 2 2, 4 (1) : 1	49) 5 2 4, 1 (1) : 1	66) 4 3 1, 4 (1) : 1	
16) 1 1 4, 1 (1) : 1	33) 2 2 3, 2 (1) : 1	50) 5 2 5, 1 (1) : 1	67) 4 3 2, 4 (1) : 1	
17) 2 1 4, 1 (1) : 1	34) 2 2 4, 1 (1) : 1	51) 1 3 1, 2 (1) : 1	68) 4 3 3, 4 (1) : 1	

На диапазоне значений «Температура источника» предложены функции принадлежности, определяющие границы температур, при которых возможен процесс передачи тепла разным типам преобразователей (хорошим источником будет тот, который имеет значение температуры, находящееся в промежутке между функциями принадлежности «средняя» и «высокая»). Диапазон значений углового коэффициента – между функциями принадлежности «0-1» (от нуля до единицы) и «1<» (больше единицы), т.к. при расчёте полного количества теплоты между источником и преобразователем данное значение эквивалентно КПД (чем больше значение, тем большее количество тепла будет передано преобразователю, т.е. направление излучения будет направлено в центр преобразователя при минимальном расстоянии). Диапазон значений «длина ИК-волны» эквивалентен диапазону чувствительности полупроводников (кремния и германия), кроме того, высшая оценка присваивается диапазону от 1450 до 1500 нм, т.к. при данных длинах волн лучше всего происходит нагрев жидкости.

Далее в табл. 3 приведены результаты тестирования системы нечёткого логического вывода. Для тестирования была выполнена экспертная оценка потенциала источников с заданными параметрами, оценки эксперта приняты за эталон.

Таблица 3

Тестирование системы оценки потенциала источника теплового излучения

**Примеры оценки потенциала источника**

Температура	Угловой коэффициент	Длина ИК-волны	Оценка системы	Оценка эксперта	Отклонение
75° С	1.1	1.45 мкм	4.2 балла	4.4 балла	4.76 %
75° С	0	1.45 мкм	2.45 балла	2.4 балла	2.04 %
34° С	1.1	1.45 мкм	3.51 балла	3.5 балла	0.28 %
34° С	1.1	0.9 мкм	3.91 балла	3.8 балла	2.81 %
48° С	0.6	0.7 мкм	4.1 балла	4 балла	2.43 %
85° С	2	1.45 мкм	4.8 балла	4.8 балла	0 %
85° С	0	2.2 мкм	2.41 балла	2.2 балла	4.56 %

Реализация нечёткого алгоритма оценки результатов измерений параметров источника теплового излучения позволяет оптимизировать ресурсы, задействованные модулем управления, и является одной из начальных операций алгоритмического программного обеспечения, цель которого – обеспечение критерия эффективности: максимизация принимаемой энергии инфракрасного диапазона с учётом минимизации невозобновляемой энергии на корректировку работы элементов объекта управления. В дальнейшем будет разработан и представлен полный алгоритм работы системы управления гелиоустановками, направленный на повышение их эффективности. Предложенный подход позволит программными средствами повысить потенциал эффективности местных систем отопления, эксплуатируемых на территориях со сложной инфраструктурой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2693968 Российская Федерация, МПК F24S 30/00. Адаптируемый к положению естественного источника инфракрасного излучения (солнца) держатель рабочей поверхности солнечного коллектора: № 2018101835: заявл. 17.01.2018: опубл. 08.07.2019 / Болдырев В. В.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет». – 11 с.
2. Болдырев, В. В. Программа для СППР автоматического ориентирования рабочей поверхности солнечного коллектора на источник электромагнитного излучения // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020611784. 2020.
3. Система автоматического наведения гелиоустановок с параболическими и параболоцилиндрическими концентраторами на солнце / О. М. Саламов, И. А. Гаджигасанов, Ф. Ф. Мамедов, У. Ф. Самедова, Г. И. Исаков // Международный научный журнал альтернативная энергетика и экология. – 2017. – № 10. – С. 102.
4. Степаненко, В. П. Выбор ресурсосберегающих источников и накопителей энергии в системах автономного энергоснабжения / В. П. Степаненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 1. – С. 185-194.
5. Оценка целесообразности применения фотоэлектрических установок для электроснабжения удалённых потребителей в климатических условиях севера Российской Федерации / М. А. Сурков, С. Г. Обухов, И. А. Плотников, Л. П. Сумарокова, М. М. Попов, С. А. Байдали // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 88.
6. Оценка прогнозируемого энергозамещения зданий с использованием систем солнечного тепло- и холодоснабжения / Т. В. Щукина, Д. М. Чудинов, В. В. Шичкин, И. А. Потехин, Р. А. Шепс // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 1(4). – С. 54-61.
7. Boldyrev V. V., Gorkavyy M. A., Solovov D. B. Designing an adaptive software and hardware complex for converting solar energy / International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), DOI: 10.1109/FarEastCon. 2019.8934085, 2019.
8. Dvoretckaiia N., Bolshakova A. D., Mozharova A. M., Soboleva M. S., Kirilenkoba D. A., Baranova A. I., Mikhailovskii V. Y., Neplokha V. V., Morozova I. A., Fedorova V. V., Mukhinab I. S. Ganp-based photovoltaic device integrated on si substrate. St. Petersburg Academic University, doi: j.solmat – 110282, 2019.
9. Falter C. P., Pitz-Paal R. A generic solar-thermochemical reactor model with internal heat diffusion for counter-flow solid heat exchange / Solar Energy, 2017.
10. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Petrukhin A. B., Oparina L. A., Martynov L. A. Analysis of conditions when designing energy saving heat pump systems for autonomous textile manufactures / Bulletin of the Volga State University of Technology, 2018.
11. Gorkavyy M. A., Gorkavyy A. I., Solovyev V. A. Conceptual model of intelligent system supporting situation evaluation, forecast and control at power grid companies. International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 – Proceedings, 2017.
12. Gorkavyy M. A., Gudim A. S., Efimov A. Y., Solovov D. B. Algorithmization and principles of construction of information support of the automated module for energy outlays optimization of technological processes at robotized productions. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon, 2018.
13. Iwafune Y., Kanamori J., Sakakibara H. A comparison of the effects of energy management using heat pump water heaters and batteries in photovoltaic-installed houses, Energy Conversion and Management, 2017.
14. Protsishen A. A., Ulitskaya E. O. Development of the algorithm of management of the heating system and hot water supply using renewable energy sources. Automation of technological and business processes, 2017.
15. Rakhmatulin R., Kirpichnikova I. M. Analysis of the economic efficiency of the use of solar energy in the process of development of electrical and heat energy using the steam turbine in the territory of Russian Federation, Bulletin of Cherepovets State University, 2017.