

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ МУЛЬТИВАЛЕНТНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ*

Ю.Л. Бондарев, М.Ф. Гильметдинов, А.Л. Карташев, Е.В. Сафонов

Рассматриваются вопросы математического моделирования параметров системы мультивалентного теплоснабжения, основанной, в том числе, на преобразовании энергии солнечного излучения в тепловую энергию при помощи солнечного коллектора, а также преобразования низкопотенциальной энергии окружающей среды посредством теплового насоса. Математическая модель теплоэнергетических процессов (теплоэнергетическая модель) в системы мультивалентного теплоснабжения представляет собой многоуровневую инвариантную систему, учитывающую целый набор процессов и факторов, определяющих характер теплоэнергетического состояния рассматриваемой системы теплоснабжения. Проведение математического моделирования теплоэнергетических параметров (анализ теплоэнергетических моделей) системы мультивалентного теплоснабжения необходимо проводить с помощью высокопроизводительных вычислений, основанных на параллельных алгоритмах для многопроцессорных вычислительных систем.

Ключевые слова: математическое моделирование, солнечный коллектор, система мультивалентного теплоснабжения, функциональная структура математической модели, компоненты системы теплоснабжения, математические модели компонентов системы, входные и выходные параметры математической модели.

Введение

Разработка системы мультивалентного теплоснабжения невозможна без поиска конструкторских и технологических решений, обеспечивающих эффективное преобразование энергии солнца и низкопотенциальной энергии окружающей среды в тепловую и ее последующее использование.

Оптимизация системы требует определения критериев оптимизации и моделирования режимов работы систем различного конструктивного исполнения в различных условиях работы.

Исследование эффективности систем мультивалентного теплоснабжения и их конструктивного исполнения может быть проведено при помощи детального многоуровневого математического моделирования, позволяющего осуществлять проектирование оптимальных конструкций систем гибридного теплоснабжения различного назначения и соответствующих заданным техническим условиям.

Таким образом, основной задачей проведенных работ являлась разработка функциональной структуры математической модели системы мультивалентного теплоснабжения, позволяющей по заданным входным параметрам определять рабочие характеристики системы при обеспечении ее требуемых выходных параметров.

1. Основные принципы построения математической модели

Математическая модель теплоэнергетических рабочих параметров систем мультивалентного теплоснабжения (рис. 1) зданий является основой для построения алгоритма выбора оптимальной энергоэффективной системы гибридного теплоснабжения (далее – Система) [1].

Требования к построению такой модели и ее функционированию (функциональной структуре) должны обеспечивать обобщенное применение разрабатываемой математической модели для различных типов Систем, использующихся в различных зданиях и сооружениях (включая жилые, офисные, производственные и возможные другие типы помещений) [2–4].

* Работа выполнена в рамках Государственного контракта № 16.552.11.7058 от 12.07.2012 г. Заказчик – Министерство образования и науки Российской Федерации.

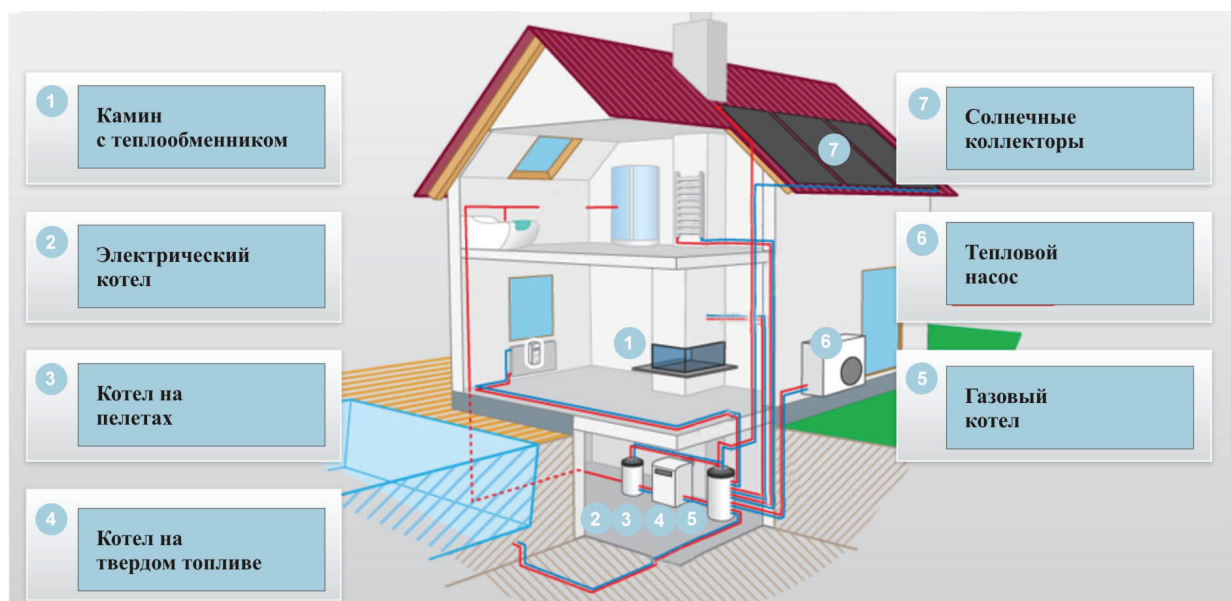


Рис. 1. Схема возможных комбинаций источников тепловой энергии системы гибридного (мультивалентного) теплоснабжения

В целом разрабатываемая математическая модель должна включать в себя несколько моделей (субмоделей) и алгоритмов, таких как:

- статическая модель теплового режима Системы и ее отдельных элементов;
- динамическая модель теплового режима Системы и ее отдельных элементов;
- модели функционирования каждого из отдельных элементов Системы (в зависимости от функционального назначения и конструктивного исполнения);
- модель взаимодействия элементов Системы;
- модуль обработки входных и выходных данных.

Разрабатываемая математическая модель должна стать основой разработки перспективных технологий для систем мультивалентного теплоснабжения, в том числе использующих солнечные термальные коллекторы.

Создание математической модели системы мультивалентного теплоснабжения, обеспечивающей ее разработку и реализацию в виде опытного образца для внедрения в опытную эксплуатацию, должно быть непосредственным образом связано с техническим исполнением Системы, в частности, с типом и схемой Системы, конструкцией термального коллектора, типом теплообменных устройств, типом теплового насоса, системой управления, характеристики которых являются входной информацией для проведения математического моделирования.

2. Системный подход к построению математической модели

Для построения математической модели Системы необходимо использовать методологию системного анализа. Иерархическая структура математической модели включает в себя общую математическую модель и набор независимых либо связанных друг с другом модулей (моделей и субмоделей), которые должны функционировать так же совместно либо независимо друг от друга. Кроме того, субмодели различных иерархических уровней должны иметь способность адекватно описывать работу элементов Системы без использования структуры более высоких иерархических уровней [5].

Таким образом, разрабатываемая математическая модель должна состоять из следующих иерархических уровней (от высших уровней к низшим).

Статическая модель теплового режима Системы, включающая математические модели, описывает стационарные (квазистационарные) состояния элементов Системы. Статическая модель должна включать в себя наиболее полное описание теплоэнергетического состояния системы мультивалентного теплоснабжения с учетом всех факторов, влияющих на это состояние.

Основное назначение статической модели – проведение оптимизационных расчетов теплового режима Систем различных конструкций, имеющих различные рабочие характеристики.

Динамическая модель теплового режима Системы включает в себя модуль обработки рабочих параметров, характеризующих текущее тепловое состояние Системы. Динамическая модель должна обеспечить сбор и предварительную обработку оперативных входных данных; математическую обработку исходных и расчетных данных за период изменения внешних климатических условий и режима потребления тепловых ресурсов; поверочный расчет теплового режима Системы здания и сооружения в зависимости от текущих климатических условий; формирование корреляционных коэффициентов, которые позволяют получить уточненные сведения о рабочих режимах Системы.

При выборе математического метода решения системы уравнений математической модели должен быть выбран наиболее оптимальный, обеспечивающий не только требуемую точность математического моделирования по отношению к реальным процессам, но и требуемое быстродействие.

Динамическая модель должна функционировать в составе программного обеспечения средств управления Системы.

3. Обеспечение многоуровневости и инвариантности применения математической модели

Математическая модель, описывающая функционирование системы мультивалентного теплоснабжения, должна обеспечивать многоуровневость проектирования Системы (то есть проектирование систем различных по уровню сложности и полноте комплектации) и инвариантность ее применения для различных типов отапливаемых помещений и систем горячего водоснабжения.

Суть сказанного состоит в том, что на различных этапах своего технического развития Система может использоваться в различных конфигурациях, обусловленных ее типом и техническим наполнением. В своем расширенном уровне Система реализует свои функции в максимальном объеме при наличии всех перечисленных выше процессов и факторов. В случае реализации более простых уровней (число таких уровней может быть достаточно велико и определяться конкретным исполнением Системы) Система может использовать ограниченное число технических элементов для обеспечения функции теплоснабжения. Инвариантность использования Системы обусловлена различными типами помещений, в которых она будет использоваться, а также величиной горячего водоснабжения.

Указанные выше свойства Системы должны быть обеспечены соответствующими свойствами математической модели. Для этого при разработке математической модели требуемого уровня (комплектации) используются только те процессы и факторы из описанных выше, которые оказывают существенное влияние на функционирование Системы необходимого уровня.

4. Функциональная структура математической модели

Анализ функционирования математической модели, взаимодействия ее субмоделей и модулей может быть проведен с помощью *функциональной структуры математической модели*.

Разработка такой структуры позволяет детализировать требования, предъявляемые к математической модели, установить взаимосвязи элементов модели, в случае необходимости легко варьировать составом моделей и модулей математической модели.

Функциональная структура также позволяет создавать различные уровни математической модели для систем мультивалентного теплоснабжения.

И, наконец, с помощью функциональной структуры математической модели можно построить процедуру оптимизации системы мультивалентного теплоснабжения, в том числе с учетом экономической эффективности.

Предлагаемая структура математической модели представлена на рис. 2. Следует отметить, что модульное построение системы математического моделирования позволяет при необходимости откорректировать и функциональную структуру математической модели в соответствии с требованиями, предъявляемыми к системам гибридного теплоснабжения.

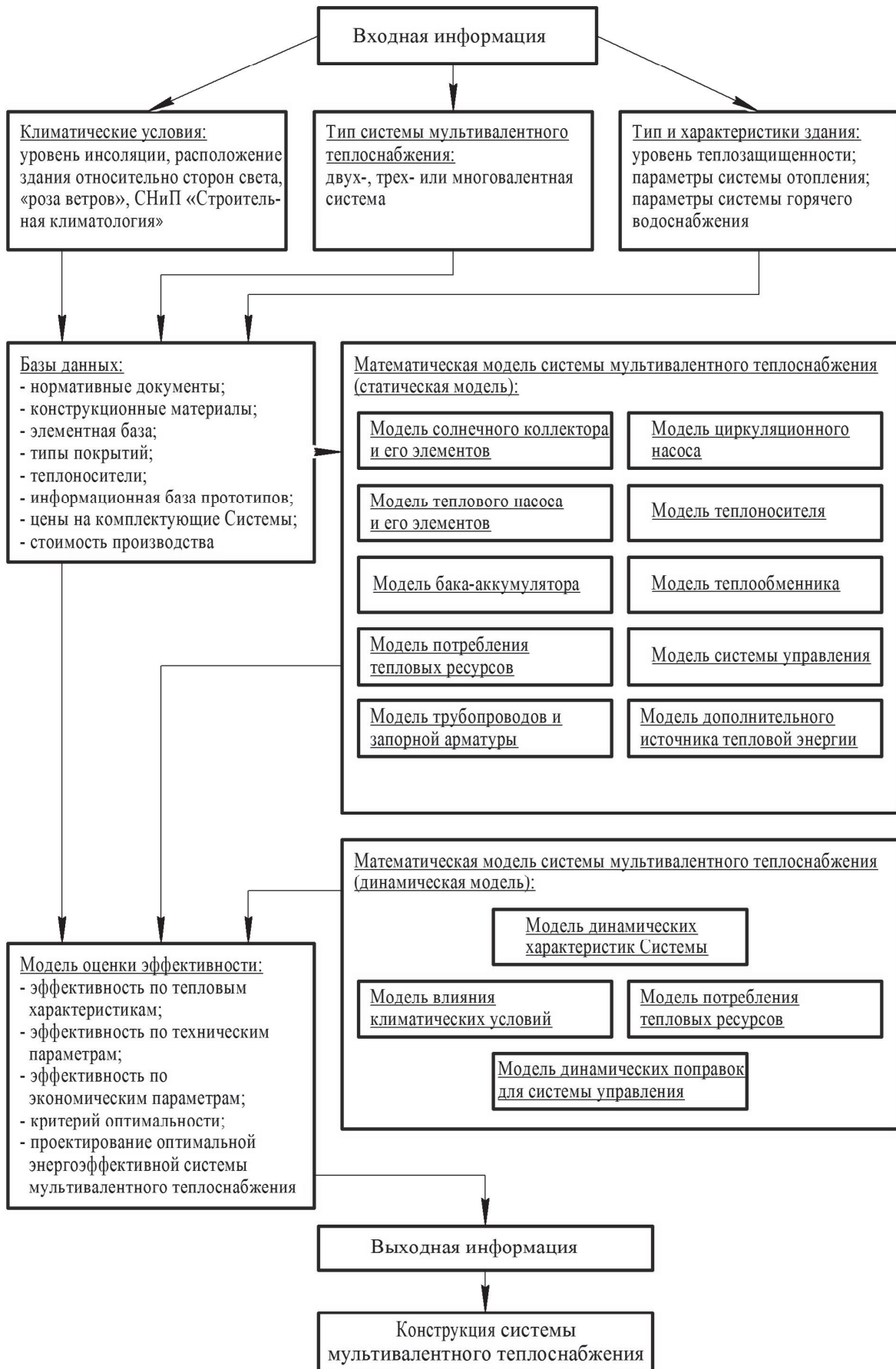


Рис. 2. Математическая модель системы солнечного теплоснабжения

Функциональная структура математической модели может быть подразделена на три основных блока:

- блок входной информации;
- расчетный комплекс математической модели (статическая модель);
- расчетный комплекс математической модели с блоком вычисления динамических поправок;
- базы данных с информационным обеспечением математической модели;
- расчетный комплекс математической модели для оценки эффективности Системы;
- блок выходной информации.

Выводы

Математическая модель теплоэнергетических процессов (теплоэнергетическая модель) в системе мультивалентного теплоснабжения представляет собой многоуровневую инвариантную систему, учитывающую целый набор процессов и факторов, определяющих характер теплоэнергетического состояния рассматриваемой системы теплоснабжения.

Проведение математического моделирования теплоэнергетических параметров (анализ теплоэнергетических моделей) системы мультивалентного теплоснабжения необходимо проводить с помощью высокопроизводительных вычислений, основанных на параллельных алгоритмах для многопроцессорных вычислительных систем.

Литература

1. Бондарев, Ю.Л. О методе построения высокоэффективной гибридной системы энергообеспечения здания нового поколения / Ю.Л. Бондарев, М.Ф. Гильметдинов // *Инновации. Энергосбережение. Право: тез. докл. Всерос. межвуз. конф. молодых ученых, студентов и аспирантов.* – М.: МИЭТ, 2013. – С. 60–64 с.

2. Расчет теплопроизводительности систем солнечного горячего водоснабжения для южных районов СССР / Ю.В. Авдеева, С.И. Смирнов, Б.В. Тарнижевский, О.Ю. Чебунькова // *Гелиотехника.* – 1983. – № 3. – С. 39–42.

3. Бекман, У.А. Расчеты систем солнечного теплоснабжения / У.А. Бекман, С.А. Клейн, Дж.А. Даффи. – М.: Энергоиздат, 1982. – 348 с.

4. Даффи, Дж.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж.А. Даффи, У.А. Бекман. – М.: Мир, 1977. – 422 с.

5. Применение высокопроизводительных вычислений для анализа теплоэнергетических моделей сложных инженерных объектов / С.Д. Ваулин, А.Л. Карташев, М.А. Карташева и др. // *Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2008): тр. междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, 28 янв. – 1 февр. 2008 г.).* – Челябинск. – Изд-во ЮУрГУ, 2008. – С. 334–339.

Бондарев Юрий Леонидович, аспирант кафедры летательных аппаратов и автоматических установок, директор Центра коллективного пользования в энергетике и энергосбережении, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); yu_bondarev@mail.ru.

Гильметдинов Максим Фанисович, мл. науч. сотрудник Управления научной и инновационной деятельности, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); maksim-gilmetdinov@rambler.ru.

Карташев Александр Леонидович, д-р техн. наук, профессор кафедры летательных аппаратов и автоматических установок, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); al_kartashev@mail.ru.

Сафонов Евгений Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры двигателей летательных аппаратов, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); e-safonov@yandex.ru.

THE FUNCTIONAL STRUCTURE OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE SYSTEM BASED ON A MULTIVALENT HEATING ALTERNATIVE AND TRADITIONAL ENERGY SOURCES

Yu.L. Bondarev, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
yu_bondarev@mail.ru,

M.F. Gilmetdinov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
maksim-gilmetdinov@rambler.ru,

A.L. Kartashev, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
al_kartashev@mail.ru,

E.V. Safonov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
e-safonov@yandex.ru

The article deals with the mathematical modeling of the system parameters multivalent heating based, inter alia, on the conversion of solar radiation into heat energy through the solar collector, as well as the pre-formation of low-grade energy environment through the heat pump. Mathematical model of heat and power processes (teploenergeticheskiy model) in a multivalent heating system is a multilevel invariant system that takes into account a set of processes and factors that determine the nature of heat and power status under consideration, the heating system. Carrying out mathematical modeling of heat and power parameters (analysis of thermal power models) of multivalent heat supply must be carried out using high-performance of computation based on parallel algorithms for multiprocessor systems.

Keywords: mathematical modeling, solar collector, heat supply system of a multivalent, functional structure of the mathematical model, the components of the heating system, the mathematical model of the system components, the input and output parameters of the mathematical model.

References

1. Bondarev Yu.L., Gilmetdinov M.F. *O metode postroeniya vysokoeffektivnoy gibridnoy sistemy energosnabzheniya zdaniya novogo pokoleniya* [A Method of Constructing a Highly Efficient Hybrid Power Supply System of the Building of a New Generation]. *Innovatsii. Energoberezhenie. Pravo. Vserossiyskaya mezhvuzovskaya konferentsiya molodykh uchenykh, studentov i aspirantov: tezisy dokladov* [Innovation. Energy Saving. Right. National Interuniversity Conference of Young Scientists and Graduate Students: Theses of Reports], Moscow, MIET, 2013, pp. 60–64.
2. Avdeeva Y.I.B., Smirnov S.I., Tarnizhevskiy B.V., Chebunkova O.Ju. *Raschet teploproduktivnosti sistem solnechnogo goryachego vodosnabzheniya dlya yuzhnykh rayonov SSSR* [Calculation of Thermal Performance of Solar Hot Water Systems for the Southern Regions of the USSR]. *Geliotekhnika* [Solar Technology], 1983, no. 3, pp. 39–42.
3. Bekman U.A., Klejn S.A., Daffi Dzh.A. *Raschety sistem solnechnogo teplosnabzheniya* [Calculations of Solar Heat Supply]. Moscow, Energoizdat, 1982. 348 p.
4. Daffi Dzh.A., Bekman U.A. *Teplovye protsessy s ispol'zovaniem solnechnoy energii* [Thermal Processes Using Solar Energy]. Moscow, Mir, 1977. 422 p.
5. Vaulin S.D., Kartashev A.L., Kartasheva M.A., Safonov E.V., Shestakov A.L. The Use of High Performance Computing for the Analysis of Heat-energy Models of Complex Engineering Objects [Primenenie vysokoproizvoditel'nykh vychisleniy dlya analiza teploenergeticheskikh modeley slozhnykh inzhenernykh ob"ektov]. *Parallel'nye vychislitel'nye tekhnologii: tr.mezhdunar. nauch. konf. (Sankt-Peterburg, 28 yanvarya – 1 fevralya 2008)* [Proc. Intern. Scient. Conf. "Parallel Computing Technologies", St. Petersburg]. Chelyabinsk, SUSU Publ. House, 2008, pp. 334–339.

Поступила в редакцию 18 сентября 2013 г.