

УДК 621.311.001.57

В.А.СТЕННИКОВ, д-р. техн. наук, Е.А.БАРАХТЕНКО, канд. техн. наук,  
Д.В.СОКОЛОВ

*Институт систем энергетики им. Л.А.Мелентьева СО РАН, г.Иркутск  
(Российская Федерация)*

**УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА  
РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ  
ТЕПЛОСНАБЖАЮЩИХ СИСТЕМ**

Предложен методический подход к созданию программного обеспечения, позволяющего решать весь комплекс задач математического моделирования и оптимизации теплоснабжающих систем.

Запропоновано методичний підхід до створення програмного забезпечення, дозволяючий вирішувати весь комплекс завдань математичного моделювання та оптимізації теплопостачальних систем.

The authors suggest a methodological approach to create of the software which makes it possible to solve the problems of mathematical modeling and optimization of heat supply systems.

*Ключевые слова:* теплоснабжающая система, инструментальная платформа, онтология, модельно-управляемая архитектура.

Проблема создания методического и программного обеспечения для решения задач математического моделирования и оптимизации (ММО) теплоснабжающих систем (ТСС) является актуальной поскольку обусловлена постоянным развитием систем и износом оборудования, а также ростом требований к энергетической эффективности экономик стран. Она охватывает широкий круг задач, которые состоят в поиске оптимального направления изменения структуры и параметров систем, определения и устранения "узких" мест, замены устаревших технологий и оборудования на новые энергоэффективные, обеспечения требований надежности теплоснабжения и управляемости систем при удовлетворении физико-технических условий их функционирования и выполнении ограничений на режимные параметры. Критерием выбора решений в наиболее общем случае является минимум приведенных затрат, дисконтированных во времени, а в частных случаях это может быть экономический эффект, получаемый от реализации конкретных мер. Неоднородная по типу и мощности структура источников тепла, распределенность по большой территории тепловых сетей, многоконтурность их схем, наличие множества сетевых элементов (насосных, дроссельных станций), разнородная структура тепловых нагрузок существующих ТСС городов вносят значительную сложность в постановку и решение задач математического моделирования и оптимизации ТСС. Прежде всего, это

связано с большой размерностью решаемых задач, нелинейностью гидравлических и экономических характеристик элементов систем, с множественностью физико-технических ограничений и условий.

Научно-методические основы для решения задач математического моделирования и оптимизации теплоснабжающих систем наиболее комплексно рассматриваются в рамках разработанной и развиваемой в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ СО РАН) теории гидравлических цепей (ТГЦ) [1-3]. В настоящей статье предложен оригинальный подход для создания программного обеспечения, который позволяет реализовать полученные в рамках ТГЦ методы и алгоритмы математического моделирования и оптимизации теплоснабжающих систем на основе современных достижений в области информационных технологий [4, 5].

Традиционно для решения задач ММО ТСС в ИСЭМ СО РАН разрабатывались различные программные комплексы (СОСНА, СТРУКТУРА, ДИСИГР и др.) [1]. На современном этапе расчетной практики существующие программные комплексы не могут удовлетворить всем требованиям, предъявляемым к созданию гибкого самонастраивающегося программного обеспечения (ПО), решающее весь комплекс задач математического моделирования и оптимизации ТСС в условиях современных вызовов времени. В основном причины, сдерживающие создание интегрированного программного комплекса на базе последних достижений в области информационных технологий, являются следующие:

- разработанные программы предназначены для решения отдельных классов задач конкретного типа, но не могут быть использованы в рамках единого итерационного вычислительного процесса;
- схема взаимодействия между программными модулями скрыта в программном коде, что не позволяет гибко формировать итерационные схемы вычислений, организуя различные последовательности их вызова;
- имеются трудности, связанные с интеграцией отдельных вычислительных модулей, реализованных на разных языках программирования в единый программный комплекс;
- не предусмотрена возможность расширения и изменения моделей элементов ТСС без переработки исходного программного кода, так как модели элементов ТСС и вычислительные алгоритмы, представленные при помощи различных языков программирования, заложены в программный код, в котором отсутствует четкое разделение между ними.

Изложенные недостатки имеющегося ПО обусловили необходимость, с одной стороны, разработки методического подхода построения ПО и, с другой стороны, самого ПО нового поколения.

*Инструментальная платформа для разработки программного обеспечения.* Для создания современного ПО предложен методический подход, в основе которого лежит инструментальная платформа. Она служит единой основой при разработке и апробации новых алгоритмов, методов и программных компонентов для решения задач ММО ТСС. Новые методы и алгоритмы, реализованные в виде программных компонентов, становятся частью инструментальной платформы.

В основе инструментальной платформы лежит парадигма разработки ПО, управляемой моделями (Model-Driven Development, MDD). Идея MDD состоит в том, что ПО автоматически строится на основе моделей для решения конкретной задачи [4]. Модели, описывающие объекты решаемой задачи и связи между ними, формализуются с помощью специальных языков описания предметных областей. Формирование схемы вычислительного процесса происходит на основе этих моделей, как это показано на рис. 1.

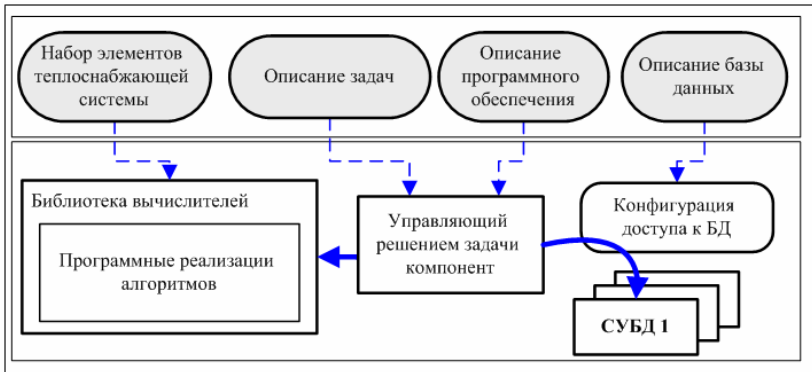


Рис. 1 – Схема формирования вычислительного процесса на основе моделей

Модели, на базе которых строится ПО, в рамках инструментальной платформы, формализованы в виде онтологий [5].

Применение компонентного подхода позволяет выполнить иерархическую декомпозицию программной системы на части и представить ее логическую архитектуру в виде взаимодействующих друг с другом компонентов. Особенность данного подхода состоит в том, что однажды реализованный компонент (например, решатель системы уравнений, алгоритм построения дерева и т.д.) может быть многократно использован при решении различных задач. Данное свойство компонентов позволяет выполнить решение взаимосвязанных задач ММО ТСС в рамках единого вычислительного процесса, который основан на последователь-

ном, поэтапном их решении и взаимоувязке получаемых на каждом этапе результатов. Появляется возможность использовать готовые компоненты и наращивать функциональность ПО без переработки исходного программного кода.

Инструментальная платформа состоит из трех компонентов (рис.2): онтологическая система; инструментальные средства для работы с онтологиями; программные компоненты для разработки ПО ММО ТСС.

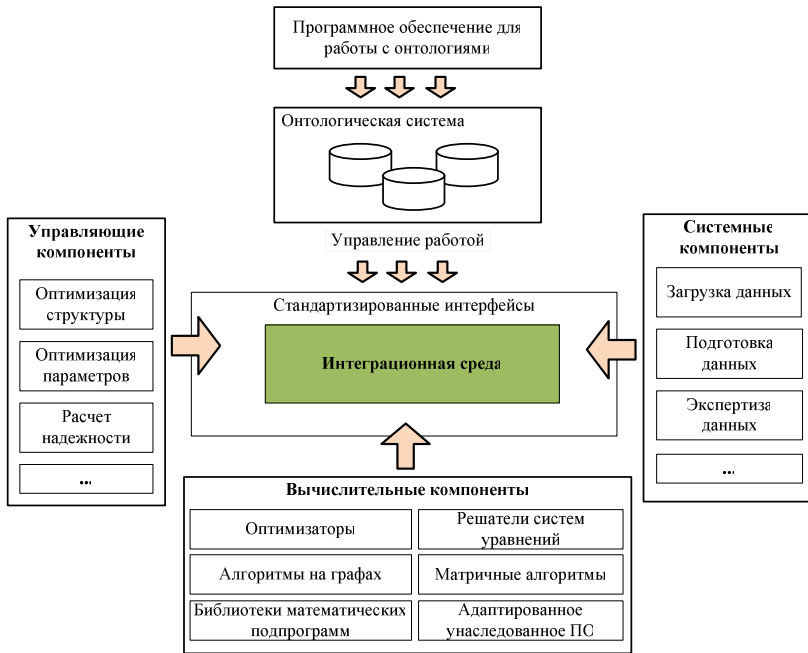


Рис.2 – Структура инструментальной платформы

*Онтологическая система.* Онтологическая система состоит из следующих компонентов: метаонтология, онтология инженерных знаний, онтология программного обеспечения, машина вывода. Метаонтология специфицирует множество онтологий, определяя систему понятий, используемую при задании других онтологий. Онтология инженерных знаний описывает ТСС как объект исследования, перечисляя ее элементы и их свойства, и состоит из онтологии ТСС и онтологии задач. Онтология ПО описывает программные компоненты для автоматического их использования в вычислительном процессе и состоит из онтологии ПО и онтологии БД. Машина вывода представляет собой подсистему, способ-

ную делать логические выводы из множества установленных фактов и аксиом, формализованных в онтологии инженерных знаний и онтологии ПО.

*Онтология ТСС* содержит описание свойств подсистем ТСС, типы и параметры оборудования, трубопроводов, иерархию структуры элементов сети, их свойства, связи между элементами, их математическое описание (например, замыкающие соотношения, формулы расчета сопротивлений и др.). Она предназначена для формирования моделей элементов, которые в процессе осуществления вычислений интегрируются с вычислительными алгоритмами, содержащимися в программных компонентах. Это позволяет настраивать ПО на особенности конкретной ТСС и автоматизировать процесс создания компонентов-моделей для расчета конкретной ТСС. Данный подход обеспечивает новые возможности для решения задач ММО ТСС, предоставляя инженеру инструмент, который позволяет проводить исследования, изменяя только параметры моделей. Его универсальность заключается в том, что программист избавляется от работы по ручному созданию множества компонентов.

*Онтология задач* содержит описание иерархии задач, множество параметров, являющихся исходными данными и параметров, получаемых в результате решения задачи. Данная онтология ориентирована на организацию пошагового решения поставленных задач (вызов программных модулей и подпрограмм). Она отражает взаимосвязь подзадач, обеспечивающих решение текущей задачи. Онтология задач организуется в виде графа, узлы которого соответствуют шагам решения задачи, дуги графа – связям между шагами. Процесс решения конкретной задачи представляется как обход графа, построенного для этой задачи.

*Онтология ПО* содержит описание программных компонентов и их свойств, входные и выходные параметры, форматы данных, технологии доступа к компонентам системы. Онтология ПО используется для организации доступа к программным компонентам. Управляющий компонент, предназначенный для организации решения задачи, при обработке конкретного узла графа процесса решения задачи на основе описания программных компонентов, полученного из онтологии ПО, выстраивает последовательность обращения к компонентам, загружает их в память и обеспечивает их работу.

*Онтология БД* содержит описание структуры различных по составу используемых БД (таблицы и связи между ними, представления, хранимые процедуры и т.д.), работающих под управлением разных СУБД. Онтология БД используется для организации взаимодействия ПО с раз-

личными БД при автоматической генерации конфигурации доступа к СУБД. Данный подход позволяет настраивать ПО на использование БД разных разработчиков, с произвольной структурой и предназначенных для работы под управлением различных СУБД (MS Access, MS SQL Server, Firebird и т.д.).

*Инструментальные средства для работы с онтологиями* предназначены для просмотра, добавления и редактирования знаний, формализованных в онтологиях. В данном ПО выделены подсистемы: набор программ для работы с онтологией инженерных знаний, предназначенный для инженеров-энергетиков, и набор программ для работы с онтологией ПО, предназначенный для программистов и системных администраторов. Для удобства работы пользователей с онтологиями графический интерфейс разрабатывается в виде экранных форм и графических сетевых моделей.

Программные компоненты инструментальной платформы, в зависимости от выполняемых функций, разделены на группы. Для каждой группы компонентов разработаны интерфейсы взаимодействия между компонентами, включая правила их вызова, передачи параметров и результатов расчетов. Выделены следующие группы компонентов: вычислительные компоненты; системные компоненты; управляющие компоненты.

Рассмотрим более подробно компоненты, входящие в каждую выделенную группу.

*Вычислительные компоненты.* Набор программных компонентов, содержащих реализации методов и алгоритмов для решения задач ММО ТСС, представляет библиотеку вычислительных компонентов. Компоненты данной группы предназначены для решения задачи многократного использования программных реализаций математических методов и алгоритмов при реализации ПО различного назначения и проведении вычислительных экспериментов в научных исследованиях. Среди данной группы компонентов особое место занимают решатели линейных и нелинейных систем уравнений, которые широко применяются при решении задач потокораспределения методами контурных расходов или узловых давлений.

В число оптимизаторов входят компоненты, реализующие разработанные в рамках ТГЦ методы и алгоритмы оптимизации теплоснабжающих систем, такие как решатель задачи схемно-параметрической оптимизации методом динамического программирования; решатель задачи схемно-структурной оптимизации и др.

Вычислительные компоненты включают в свой состав программные реализации матричных алгоритмов и алгоритмов на графах. Среди

матричных алгоритмов присутствуют как алгоритмы для работы с плотными, так и разреженными матрицами. В число алгоритмов на графах входят реализации часто используемых при решении задач, связанных с моделированием сетевых объектов, алгоритмы: поиск в глубину, поиск в ширину, алгоритм Дейкстры, проверка связности сети, выделение остовного дерева кольцевой сети и др.

Библиотека математических подпрограмм состоит из математических компонентов, например, для расчета надежности, реализованный по методике, разработанной в рамках ТГЦ.

В состав библиотеки вычислительных компонентов входит адаптированное унаследованное ПО, которое интегрируется в современные программные комплексы, построенные в соответствии с методикой, предложенной в данной работе.

*Системные компоненты.* Набор программных компонентов, предназначенных для работы с данными и не содержащих реализации математических алгоритмов для решения задач ММО ТСС, представляет библиотеку системных компонентов.

Системные компоненты обеспечивают решение следующих задач:

1. Взаимодействие с базами данных (БД). Компоненты выполняют ввод исходных данных из БД и запись результатов расчетов в БД.

2. Подготовка данных. Компоненты обеспечивают преобразование данных в различные способы представления: сохранение в требуемых структурах данных, построение структур данных для компактного хранения разреженных матриц, запись в необходимые форматы хранения данных (например, XML, JSON и др.). Также компоненты данной группы выполняют функции перенумерации элементов тепловой сети при считывании данных из БД с целью восстановления их натурального порядка.

3. Экспертиза данных. Компоненты обеспечивают контроль корректности данных, введенных пользователем для проведения вычислений.

4. Формирование графического пользовательского интерфейса и взаимодействие с пользователем ПО. Компоненты пользовательского графического интерфейса осуществляют передачу от пользователя информации для управления ходом вычислительного эксперимента, представляют пользователю результаты расчетов.

*Управляющие компоненты.* Библиотеку управляющих компонентов состоит из набора программных компонентов, предназначенных для управления последовательностями вызовов системных и вычислительных компонентов при решении задач ММО ТСС.

Управляющие компоненты организуют решение задач схемно-

структурной и схемно-параметрической оптимизации, расчета надежности и др.

Предложенный в настоящей статье подход был применен авторами при реализации ПК «СОСНА-М» (Синтез Оптимальных Систем с учетом Надежности). В данном ПК был реализован алгоритм метода МКО для определения оптимальных параметров как вновь проектируемых, так и развиваемых многоконтурных ТСС с несколькими источниками при сложном рельефе местности, любом количестве элементов (узлов и участков) и структурой любой сложности. Особенностью математической модели, реализованной в ПК, является обобщение накопленного в ИСЭМ СО РАН опыта при проектировании и развитии реальных ТСС. По сравнению с предыдущими разработками ПК «СОСНА-М» может рассчитывать системы большей размерности и обеспечивает лучшую сходимость вычислительного процесса, а также сокращение времени счета.

ММО охватывает широкий круг задач. Большой круг разноплановых задач, ее составляющих, не позволяет полностью формализовать вычислительный процесс и требует гибкого сочетания математических методов расчета и оптимизации систем с инженерным опытом и знаниями исследователя. В связи с этим, единственно возможным и важным здесь является разработка научно-методической базы и работоспособного вычислительного инструмента, используя которые можно получать конкретные предложения по техническим решениям с учетом индивидуальных особенностей каждой из рассматриваемых систем.

В рамках реализации этого научно-практического направления предложен методический подход для создания программного обеспечения. Он предполагает создание инструментальной платформы в качестве единой основы при разработке и апробации новых методов, алгоритмов и программных компонентов для решения задач ММО ТСС. Применение онтологий позволяет разделить инженерные знания и описание ПО от программной реализации алгоритмов. Это дает возможность гибко управлять процессом вычисления, выполнять интеграцию программных компонентов, написанных на разных языках программирования, вносить изменения в модели элементов ТСС, настраивая ПО на моделирование конкретной ТСС с учетом набора используемого оборудования и условий развития.

Разработанный методический подход позволяет специалисту, не обладающему знаниями в области программирования, самостоятельно создавать или изменять специализированное ПО для решения задач ММО ТСС.

На основе предложенной платформы разработан ПК СОСНА-М,



предназначенный для решения задачи параметрической оптимизации разветвленных и многоконтурных теплоснабжающих систем городов и населенных пунктов с множеством источников, сложным рельефом местности, произвольным числом узлов, участков и контуров.

1. Математическое моделирование и оптимизация систем тепло-, водо-, нефте- и газоснабжения / А.П. Меренков, Е.В. Сеннова, С.В. Сумароков, В.Г. Сидлер, Н.Н. Новицкий, В.А. Стенников, В.Р. Чупин. – Новосибирск: ВО «Наука», Сибирская издательская фирма, 1992. – 407 с.

2. Меренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей. – М.: Наука, 1985. – 280 с.

3. Стенников В.А., Сеннова Е.В., Ощепкова Т.Б. Методы комплексной оптимизации развития теплоснабжающих систем // Энергетика. – М.: Изв. РАН, 2006. – №3. – С.44-54.

4. Меллор С. Модели должны работать // Открытые системы. СУБД. – 2008. – №9. – С.64-67.

5. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.

*Получено 07.11.2011*

УДК 658.24

М.В.ГРИНЧАК, А.Л.ШАПОВАЛОВ, кандидаты техн. наук,  
К.В.КУЗЬМИЧОВА

*Харківська національна академія міського господарства*

## **ПРИСТРОЙ БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ ОБЛІКУ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ОБ'ЄКТІВ КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА**

Наведено короткий огляд популярних сьогодні промислових стандартів бездротової передачі даних. Акцентовано увагу на стандарті ZigBee як найбільш ощадливому й надійному способі створення великої і простої бездротової мережі обліку витрати гарячої й холодної води, електроенергії. Пропонується простий спосіб індивідуального обліку витрати теплової енергії в багатоквартирних будинках сучасних мегаполісів.

Приведен краткий обзор популярных сегодня промышленных стандартов беспроводной передачи данных. Акцентировано внимание на стандарте ZigBee, как наиболее экономном и надежном способе создания большой и простой беспроводной сети учета расхода горячей и холодной воды, электроэнергии. Предлагается простой способ индивидуального учета расхода тепловой энергии в многоквартирных домах современных мегаполисов.

There is a short survey of the most popular nowadays industrial standards of wireless data transfer. We've focused on the standard ZigBee, because it's the most advantageous and reliable method of creating of large and easy wireless net for accounting of usage of hot and cold water as well as electricity. Moreover, the simple way of individual accounting of usage heat energy in apartment houses in contemporary megacities is found and described in this article.

*Ключові слова:* комунальне господарство, енергетичні ресурси, мережі ZigBee.

Облік енергетичних ресурсів (електрики, газу, води, тепла), які споживають промислові підприємства і приватні споживачі, є стратегіч-