

УДК [004.94+004.62]:[656.56+628.14]

Компьютерная технология «АНГАРА» для интеграции информационного и вычислительного пространства при моделировании трубопроводных систем*

А.В. АЛЕКСЕЕВ¹, Н.Н. НОВИЦКИЙ²

¹ 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН), кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: alexeev@isem.irk.ru

² 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН), доктор технических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией. E-mail: pipenet@isem.irk.ru

В статье рассматриваются проблемы разработки универсальной информационно-вычислительной среды (ИВС) «АНГАРА» для компьютерного моделирования трубопроводных и гидравлических систем произвольного типа и назначения, удовлетворяющей требованиям адаптивности, масштабируемости и расширяемости информационного и вычислительного функционала.

Сформулированы принципы реализации ИВС, применение которых позволит получить универсальный программный продукт, в полной мере отвечающий идеологии теории гидравлических цепей и позволяющий моделировать разнообразные трубопроводные системы в различных целях. Разработана структура хранения данных расчетных моделей в стандартных реляционных базах данных, что обеспечивает открытость и расширяемость данных и позволит использовать ИВС в вычислительных сетях. Представлены принципы и механизмы иерархического, параллельного и вложенного представления расчетных схем.

Дана характеристика современного состояния разработанной в ИСЭМ СО РАН ИВС «АНГАРА» для настройки и применения в рамках единого графического интерфейса пользователя информационного окружения и программных реализаций методов теории гидравлических цепей для моделирования трубопроводных систем произвольного назначения. Приведен пример создания на базе ИВС «АНГАРА» единого информационно-вычислительного пространства эксплуатационного предприятия, включающего информацию о картах, схемах сети, параметрах элементов, повреждениях и переключениях, договорах и договорных нагрузках, результатах измерений технологических параметров, данных приборов учета, а также о программном комплексе для проведения расчетов и анализа режимов двух разных типов трубопроводных систем – водоснабжения и водоотведения.

* Статья получена 24 апреля 2017 г.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, трубопроводные системы, информационно-вычислительная среда, программно-вычислительные комплексы, базы данных, многоуровневое моделирование, единое информационное пространство

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-2-26-41

ВВЕДЕНИЕ

В ИСЭМ СО РАН в рамках теории гидравлических цепей (ТГЦ) [1, 2] разработан модельный аппарат, а также методы расчета и оптимизации, применимые к любым типам трубопроводных (ТПС) и гидравлических систем. До недавнего времени эффективное использование этого методического потенциала в значительной мере сдерживалось отсутствием компьютерных технологий гибкого конфигурирования информационного и вычислительного окружения конечных информационно-вычислительных комплексов (ИВК) для произвольных типов ТПС, классов решаемых задач и сфер возможного применения.

К настоящему времени разработано достаточное количество программных продуктов для моделирования ТПС. Среди наиболее распространенных можно выделить программно-вычислительные комплексы (ПВК) зарубежных и российских компаний: Bentley (WaterGems) [3], DHI (MikeUrban) [4], United States Environmental Protection Agency (Epanet) [5, 6], Simone Research Group (Simone) [7], DNV GL (Sinergy Pipeline Simulator) [8], ООО «Политерм» (Zulu Hydro) [9], ИВЦ «Поток» (Гидрограф, Теплограф) [10] и др.

Перечисленные, а также другие имеющиеся на рынке программные продукты ориентированы на конкретный тип ТПС (водо-, тепло-, газоснабжения и др.), сферу применения (проектирование, эксплуатация, диспетчерское управление ТПС, обучение персонала) и имеют строго определенные, зачастую закрытые форматы данных.

Такая жесткая направленность и структура данных затрудняет либо не позволяет адаптировать имеющиеся ПВК для других типов ТПС, классов математических моделей, решаемых задач, целей применения.

Объектом исследования являются современные информационные технологии, а целью – разработка универсальной информационно-вычислительной среды (ИВС) для компьютерного моделирования трубопроводных и гидравлических систем произвольного типа и назначения, удовлетворяющей требованиям адаптивности, масштабируемости и расширяемости информационного и вычислительного функционала, в том числе без участия разработчика.

В данной статье рассматривается: 1) общее назначение ИВС «АНГАРА»; 2) разработка основных требований и принципов реализации ИВС; 3) разработка принципов организации данных; 4) поддержка многоуровневых информационных моделей ТПС; 5) информационно-аналитические функции ИВС; 6) разработка единого информационного пространства предприятия на базе ИВС «АНГАРА»; 7) автоматизация настройки и применение вычислительного пространства; 8) практическое применение апробация ИВС «АНГАРА».

1. ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СРЕДА «АНГАРА»

Информационно-вычислительная среда «АНГАРА» обеспечивает следующие основные возможности:

- 1) настройка информационного окружения пользователя (конфигурирование структуры и наполнение баз данных (БД));
- 2) настройка вычислительного окружения (интеграция программно-вычислительных блоков и комплексов);
- 3) применение этого окружения в рамках единого графического интерфейса пользователя для компьютерного моделирования ТПС, анализ информации и интерпретация результатов расчетов.

Результатом настройки ИВС являются конечные ИВК для решения задач моделирования ТПС. Применение полученных ИВК освобождает пользователя от необходимости знания программирования, методов расчета и математического моделирования, позволяя решать содержательные инженерные задачи непосредственно на расчетных схемах, оперируя привычными понятиями и объектами. Таким образом, ИВС обеспечивает возможность создания и работы с компьютерной графической моделью реальной ТПС любого типа и назначения.

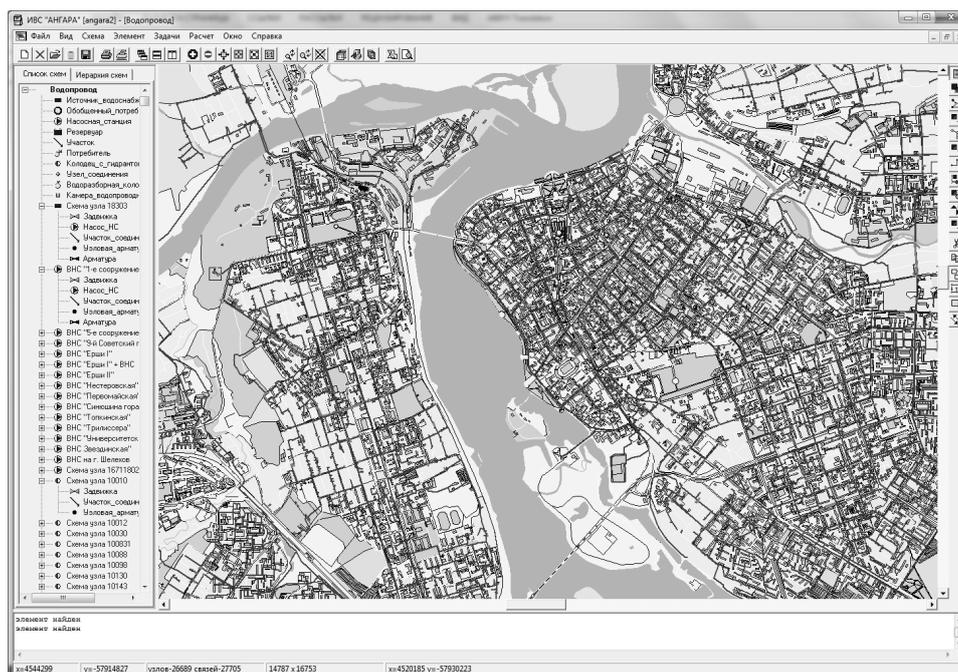


Рис. 1. Интерфейс ИВС «АНГАРА».

Первая версия информационно-вычислительной среды, получившей название ИВС «АНГАРА» (рис. 1), была реализована в 2002 г. [11]. За прошедшее время ИВС [12] получила значительное развитие [13, 14] с учетом накопленного опыта и появляющихся по мере развития IT-индустрии возможностей, а положенные в ее основу принципы и требования были существенно расширены. Ниже дается их краткая характеристика.

1.1. РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ ДАННЫХ

В основу поддерживаемых ИВС информационных моделей заложены следующие принципы: 1) моделируемая ТПС может состоять из множества взаимосвязанных расчетных схем различных типов (схемы трубопроводных сетей, насосных станций, источников и т. д.); 2) схема определенного типа собирается из набора элементов, необходимых для ее моделирования; 3) каждый тип элемента может быть задан как узел (источник, потребитель, точка разветвления и т. п.) или связь (трубопроводный участок, задвижка, насосный агрегат и др.); 4) реальный элемент ТПС (например, источник) может быть представлен как элементом какой-либо схемы, так и собственной расчетной схемой; 5) каждый элемент может находиться в одном из нескольких состояний (включен, выключен, неисправен и т. д.), что предполагает поддержку для него нескольких условных обозначений; 6) все элементы определенного типа имеют одинаковый состав числовых и символьных параметров; 7) информационная модель ТПС должна содержать не только данные по элементам ТПС, но также информацию о взаимосвязи графического изображения каждого элемента со своими данными, элементов схемы между собой, разных схем между собой, каждой схемы со своим планом, разных типов ТПС между собой, каждой схемы со своим типом расчетной задачи, каждой задачи со своей расчетной схемой или группой иерархически подчиненных схем, расчетных задач между собой.

ИВС обеспечивает автоматическое соблюдение всех этих требований. Так, взаимосвязь графики и данных, топологические отношения между элементами сети, отношения схем в иерархии и принадлежности определенному фоновому рисунку автоматически формируются уже при создании и рисовании схем и плана. Каждая схема может содержать произвольное число элементов и графических данных (элементов плана), а число уровней вложенности расчетных схем не ограничено.

Применение данных принципов при разработке ИВС позволило получить универсальный программный продукт, в полной мере отвечающий идеологии теории гидравлических цепей и позволяющий моделировать разнообразные ТПС в различных целях.

1.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ДАННЫХ

Для хранения данных информационных моделей ТПС используются стандартные реляционные СУБД. Такое решение обусловлено тем, что все задачи, решаемые на реальных ТПС, требуют хранения и обработки большого объема как самих исходных данных, так и реляционных связей между ними. Кроме данных, необходимых для решения конкретной расчетной задачи, как правило, имеется большой объем паспортных и иных данных по объектам сети. Таким образом, должна быть возможность произвольного расширения хранимого набора данных и организации доступа к ним большого числа пользователей компьютерной сети как в целях поддержки расчетных задач, так и для обеспечения информационно-справочных функций ИВС. Все перечисленные задачи легко решаются большинством современных СУБД. Одновременно достигается открытость ИВС по данным, которые при необходимости доступны стандартными средствами конкретной СУБД.

Все существующие на сегодняшний день СУБД отличаются по производительности, функциональности и стоимости. Чтобы не ограничиваться возможностями (и требованиями) какой-либо конкретной СУБД, для доступа к данным в ИВС используется универсальная технология ActiveX Data Objects (ADO), разработанная компанией Microsoft и позволяющая обмениваться данными с любой из имеющихся СУБД (работающих под ОС Windows) без изменения кода программ. Наиболее часто для сетевой работы используются СУБД MS SQLSERVER, а для локальной – MS Access. Многолетний опыт использования MS Access является успешным. Можно хранить все данные по проекту в одном файле и легко переносить его с одного ПК на другой, обеспечивается приемлемое время чтения/записи данных, эта СУБД входит в пакет MS Office, который имеет широкое распространение.

В сетевом режиме работы всегда возникает необходимость в разграничении прав доступа для различных категорий пользователей. Это можно возложить на саму СУБД. Так, например, настроив права доступа пользователей в MS SQLSERVER, ИВС позволяет организовать сетевую многопользовательскую работу в режиме просмотра схем и данных; создания и редактирования схем, данных и плана; проведения расчетов.

С учетом сформулированных ранее принципов для хранения данных по ТПС произвольного типа в ИВС используется специальная структура БД, которую можно условно разделить на три части: «ядро БД», «системную» и «пользовательскую».

Ядро БД хранит некоторую универсальную структуру типов, т. е. общие данные, характерные для любого объекта моделирования сетевой структуры, и позволяет настроить информационное окружение пользователя на работу с конкретными типами систем.

С целью облегчения настройки «системной» части БД для работы с конкретным типом систем разработан специальный программный модуль «СИНБАД» (система настройки баз данных), позволяющий пользователю, не знакомому с программированием и теорией систем баз данных, при использовании привычной терминологии создавать и изменять структуру информационной модели ТПС.

В результате настройки ядра БД для моделирования конкретного типа ТПС автоматически формируется «системная» часть БД (рис. 2), содержащая информацию о структуре и возможных типах расчетных схем (например, для водопроводных сетей это могут быть магистральные и внутриквартальные сети, схемы источников, насосных станций, водопроводных камер, колодцев и т. п.), об их отношениях в иерархии, о составе элементов для каждого типа расчетной схемы, типах и параметрах этих элементов. При настройке вычислительного окружения в БД задается связь различных схем с допустимым для них набором расчетных задач, а также порядок их запуска.

Для моделирования наиболее распространенных типов ТПС (тепло-, водо-, газоснабжения, водоотведения и др.) работа по настройке структуры БД уже проведена, и пользователи могут начинать работу непосредственно с насыщения информацией «пользовательской» части БД.

«Пользовательская» часть БД позволяет хранить весь набор необходимых параметров по схемам и элементам конкретной ТПС и заполняется самим пользователем перед проведением расчетов. Эта часть БД может быть произвольно расширена в зависимости от возникающих потребностей. Сформировав структуру и наполнив данными БД, пользователь формирует информационную модель ТПС.

База данных кроме технологических параметров ТПС содержит много-слойную графическую информацию (план местности), состоящую из графических примитивов и текстов. Первичная графическая информация может быть импортирована из популярных векторных графических форматов: share-файлов, dxf-файлов (в формате AutoCad) и ГИС MapInfo.

1.3. ПОДДЕРЖКА МНОГОУРОВНЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ТПС

Реальные ТПС имеют большую размерность, в ряде случаев исчисляемую многими десятками тысяч узлов расчетной схемы. На одной расчетной модели могут решаться разные классы задач, относящиеся к разным уровням территориальной и временной иерархии управления ТПС. И наоборот, разные задачи могут требовать разной степени подробности моделей.

Многоуровневое моделирование ТПС [15] обеспечивает возможности уменьшения размерности расчетных задач; обзорности результатов расчетов; согласования результатов решения задач, требующих разной степени подробности моделей; преодоления разобщенности информационных и математических моделей при решении задач управления ТПС на разных временных уровнях; потенциальной применимости технологий параллельных вычислений. Так, например, какая-либо проблема может быть локализована в некотором фрагменте сети, и для ее решения не требуется рассчитывать всю сеть целиком.

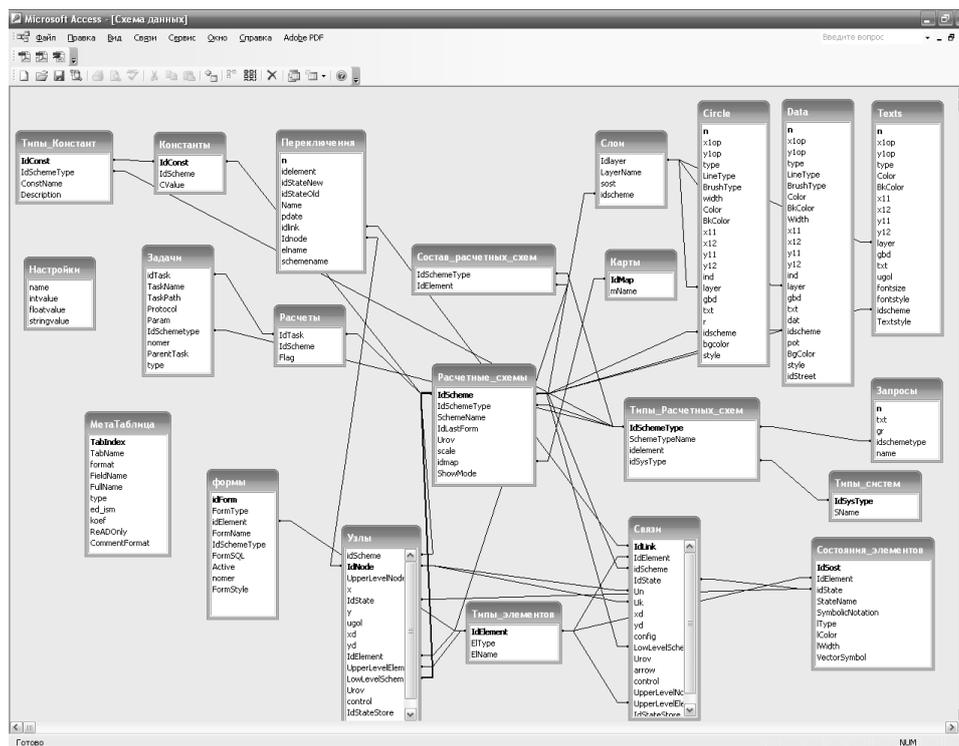


Рис. 2. Схема «системной» части БД

В ИВС «АНГАРА» реализована технология многоуровневого моделирования расчетных схем, обеспечивающая возможность декомпозиции единой

расчетной схемы по какому-либо признаку (территориальному, технологическому, ведомственному) и согласования расчетов отдельных фрагментов. Так, в тепловых сетях можно выделить магистральные и распределительные сети, схемы источников, тепловых пунктов, насосных станций, тепловых камер и т. п. Каждая расчетная схема может быть представлена в схеме более высокого уровня одним элементом, для которого предварительно выполняется процедура эквивалентирования, т. е. вычисляются параметры агрегированных характеристик схемы, которые назначаются этому элементу. Именно эти данные используются при расчете схемы верхнего уровня (ВУ), после чего может быть выполнена процедура дезагрегирования, состоящая в детализации результатов расчета элемента, представляющего схему на ВУ, на все элементы его собственной схемы нижнего уровня (НУ).

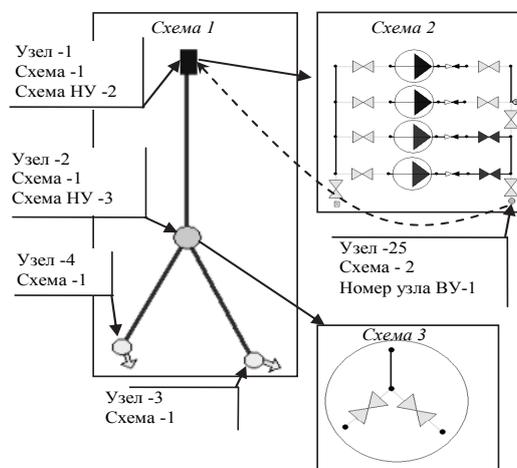


Рис. 3. Иллюстрация отношений в иерархии расчетных схем

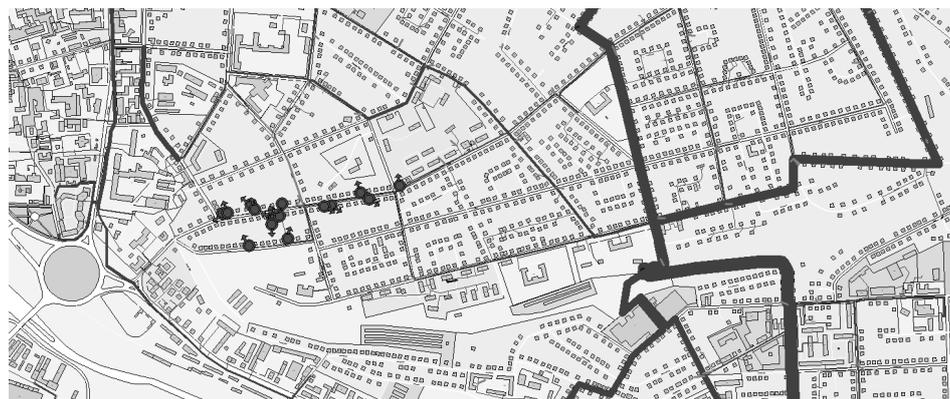
Для моделирования подобных сетевых структур предлагается следующий механизм. Каждый элемент сети (источник, трубопровод, потребитель и т. п.) имеет номер схемы, в которой он расположен; номер схемы нижнего уровня, которую он представляет на своем уровне, и номер узла верхнего уровня, с которым ассоциируется схема, включающая этот элемент (рис. 3). Применение подобной организации связей между элементами позволяет моделировать самые разнообразные отношения в иерархии расчетных схем, т. е. поддерживается не только древовидная, но и многоконтурная структура связей «один к одному», «один ко многим», «многие ко многим» между уровнями.

В ИВС «АНГАРА» реализованы три способа поддержки реляционных связей многоуровневых информационных моделей ТПС: 1) иерархический – каждый элемент может быть представлен собственной расчетной схемой нижнего уровня; 2) параллельный – из отдельных схем нижнего уровня формируется новая схема, содержащая реляционные связи с исходными схемами разных уровней; 3) вложенный – элементы схемы нижнего уровня имеют реляционные связи с граничными элементами обобщающего схему элемента на верхнем уровне. Каждый способ влияет на графическое представление модели ТПС. В первом случае схемы разных уровней отображаются независимо. Во втором – имеется возможность отображать одну и ту же схему с разной

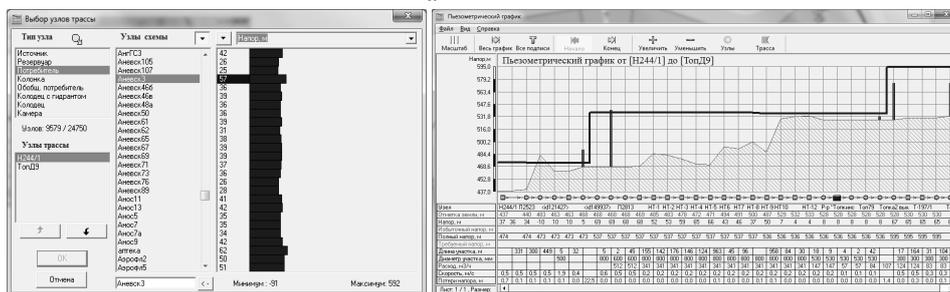
степенью детализации. В последнем случае требуемая степень детализации может быть получена оперативно, изменением масштаба отображения, что особенно актуально при диспетчерском управлении, когда требуется сочетать обзорность схемы с возможностью получения доступа к размещению управляющих органов (насосов, задвижек, регуляторов и т. д.).

1.4. ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ИВС «АНГАРА»

Модели современных трубопроводных систем городов содержат десятки тысяч элементов и сотни тысяч параметров, что значительно осложняет анализ таких систем. Наиболее наглядным способом интерпретации исходных данных и результатов расчетов является графическое представление. Информационно-вычислительная среда позволяет: 1) выделять элементы непосредственно на схемах сетей (цветом, размером, анимацией); 2) строить специальные графики (пьезометрические, температурные и др.) в привычном для инженеров виде. Пьезометрический график представляет собой вертикальный разрез земли и позволяет отображать сразу несколько параметров (геодезические отметки земли, высоту зданий, результаты замеров, давление и температуру в узлах сети, расход и потери напора на участках сети и т. д.) вдоль заданной трассы; 3) использовать элементы деловой графики (столбчатые, линейные, круговые диаграммы).



а



б

в

Рис. 4. Аналитические функции ИВС «АНГАРА»:

а – выделение на схеме узлов с недостаточным напором и участков сети с толщиной трубопровода в зависимости от расхода; б – выбор объектов сети для построения пьезометра с визуализацией графиков распределения назначенного параметра; в – пример пьезометрического графика

Таким образом, пользователь получает возможность вместо просмотра многостраничных таблиц с данными выделить (с помощью функции выделения элементов) на схеме узлы с нарушением режимных параметров. Для выявления причин возникновения нарушений достаточно построить пьезометрический график до выделенных узлов (рис. 4). Более того, операции графического анализа также были автоматизированы. В ИВС разработан механизм «шаблонов», позволяющий сохранять и впоследствии повторно применять типовые операции по выделению объектов сетей.

2. СОЗДАНИЕ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ

В большинстве современных отечественных эксплуатационных, проектных и других предприятий и организаций наблюдается очаговый характер информатизации. В различных подразделениях и службах единой организации создаются самостоятельные, разрозненные БД, имеющие отношение к одному и тому же объекту (ТПС) эксплуатации, управления, проектирования. В результате происходит дублирование информации в разных БД, ее противоречивость, непроизводительные затраты на ее поддержку и согласование в разных БД при одновременном отсутствии или недостоверности многих важных для принятия решений данных.

Решение этой проблемы лежит в плоскости создания единого информационного пространства предприятия, обеспечивающего возможность оперативного доступа всех служб и специалистов к любой имеющейся информации.

Информационно-вычислительная среда «АНГАРА» потенциально может выступить в роли ядра как при создании такого пространства, так и для его применения в компьютерных сетях, обеспечивая при этом относительно малую затратность работ, а в конечном итоге единство, непротиворечивость и целостность информации.

В частности, за счет открытости и расширяемости таблиц пользовательской части БД имеется возможность интеграции БД ИВС «АНГАРА» с другими информационными системами, такими как геоинформационные, телеметрические, поддержки договорных отношений с потребителями и смежными системами, коммерческого учета и т. д. Подобная интеграция может быть реализована следующими способами: 1) ИВС «АНГАРА» опрашивает соответствующие приложения или их БД и записывает полученную информацию в собственную БД; 2) сторонние приложения по мере появления или изменения данных передают их в БД ИВС «АНГАРА». Подобная автоматизация может быть проведена без участия разработчиков ИВС «АНГАРА».

Одновременно ИВС «АНГАРА» предоставляет возможность доступа к этой информации широкому кругу пользователей корпоративной компьютерной сети предприятия, для каждого из которых формат отображения информации (схемы, таблицы, диаграммы), а также права доступа могут быть различны. Технологии, заложенные в ИВС «АНГАРА», позволяют обмениваться данными с любой современной реляционной СУБД и настраивать произвольные отношения между записями в таблицах разных СУБД (один к одному, многие к одному, один ко многим) в зависимости от конкретных потребностей.

Предложенная авторами многоуровневая модель данных в совокупности с открытым информационным и вычислительным пространством позволяет при разработке вычислительных компонент задействовать механизм параллельных вычислений. Так, в настоящее время ведутся работы по компонентной организации вычислительных модулей с возможностью создания распределенных (в том числе облачных) вычислительных комплексов, использования возможностей многоядерных процессоров и графических ускорителей.

4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИВС «АНГАРА»

В качестве иллюстрации дадим характеристику опыта применения ИВС «АНГАРА» в МУП «Водоканал» г. Иркутска. Здесь при создании автоматизированного рабочего места (АРМ) диспетчера [16] удалось на основе ИВС «АНГАРА» создать прообраз единого информационного и вычислительного пространства (рис. 6) одновременно для двух типов ТПС (водоснабжения и водоотведения). Новые возможности ИВС и преимущества, полученные пользователями, сведены в таблицу.

Новые возможности ИВС «АНГАРА»

Возможности ИВС «Ангара»	Преимущества для пользователя
Поддержка (отображение, редактирование, активизация, моделирование и т. д.) разных типов технологических схем на единой картографической основе	Одновременная работа со схемой водоснабжения и водоотведения на едином плане городской застройки
Автоматическое обновление картографической основы (плана городской застройки) из ежемесячно обновляемой системы геоинформационной системы 2ГИС	Всегда актуальный план города с учетом нового жилищного и дорожного строительства, сноса ветхого и аварийного жилого фонда. Своевременный учет новых потребителей, выявление отсутствующих и неактуальных договоров
Автоматическое обновление данных о договорных нагрузках потребителей за счет интеграции в системе работы с абонентами, реализованной на базе «1С предприятие»	Сокращение рутинных операций по ручному занесению нагрузок потребителей. Проведение гидравлических расчетов на актуальных данных
Автоматизация увязки нагрузок абонентов систем водоснабжения и водоотведения	Отсутствие необходимости в ручном занесении данных
Формирование и сопровождение заявок по повреждениям и переключениям в рамках единого электронного журнала диспетчера систем водоснабжения и водоотведения	Актуальное состояние запорной арматуры. Анализ возможных вариантов переключений с учетом реального состояния запорно-регулирующей арматуры

Окончание таблицы

Возможности ИВС «Ангара»	Преимущества для пользователя
Получение доступа к измерениям параметров сети в результате интеграции систем SCADA, в том числе фирмы Schneider Electric	Использование реальных измеренных параметров в качестве исходных данных для расчетных задач и сравнение результатов расчета с фактическим состоянием
Получение данных о водопотреблении непосредственно с узлов учета путем интеграции биллинговых систем (систем расчета с абонентами)	Обновление информации о водопотреблении в режиме реального времени
Применение мобильной версии ИВС «АНГАРА» на планшетных компьютерах	Пользователи получают доступ к имеющейся БД, схемам сетей и плану города даже в тех местах, где отсутствует доступ к сети Интернет или локальной сети предприятия (например, при выполнении ремонтных или измерительных работ)

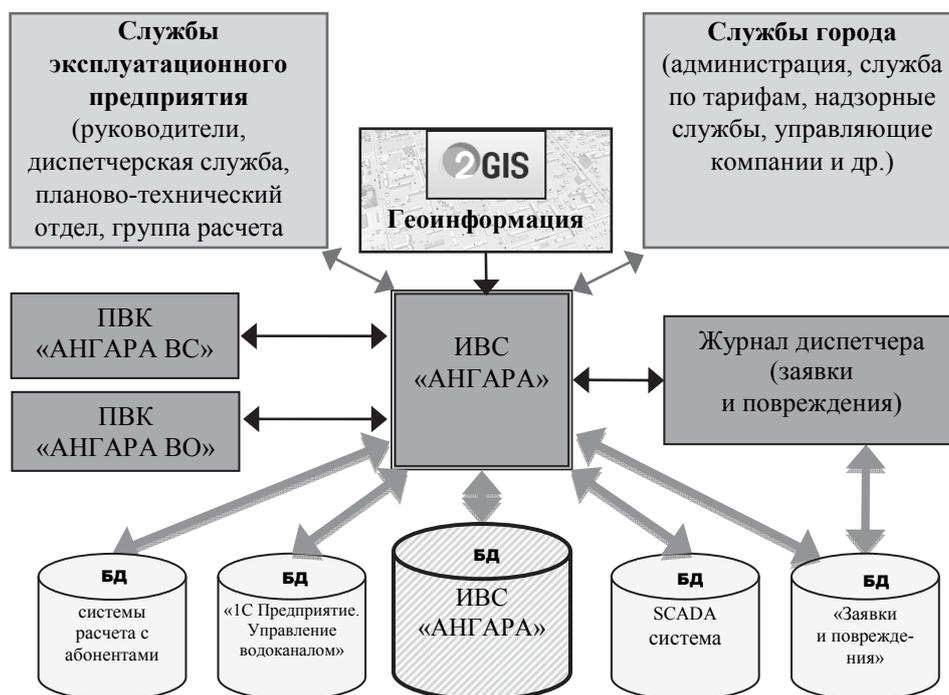


Рис. 6. Организация единого информационного пространства на базе ИВС «АНГАРА»

ВЫВОДЫ

1. Раскрыта актуальность разработки и развития универсальной информационной технологии конфигурирования и применения программных реализаций методов ТГЦ для компьютерного моделирования различных типов ТПС, классов решаемых задач и сфер возможного применения.

2. Дана характеристика современного состояния разработанной в ИСЭМ СО РАН ИВС «АНГАРА» для настройки информационного окружения и интеграции программных реализаций методов ТГЦ для моделирования ТПС произвольного назначения.

3. Представлены принципы реализации технологий, заложенных в основу ИВС «АНГАРА», подходы к организации данных и взаимодействию вычислительных блоков, механизмы иерархического, параллельного и вложенного представления расчетных схем ТПС.

4. Приведен пример практической реализации на базе ИВС «АНГАРА» концепции единого информационно-вычислительного пространства эксплуатационного предприятия, включающего информацию о картах, схемах сети, повреждениях и переключениях, договорах и договорных нагрузках, результатах измерений технологических параметров, данных приборов учета, а также программных комплексах для проведения расчетов и анализа режимов двух разных типов ТПС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей. – М: Наука, 1985. – 278 с.
2. Математическое моделирование и оптимизация систем тепло-, водо-, нефте-, газо-снабжения / отв. ред. А.П. Меренков. – Новосибирск: Наука, 1992. – 406 с.
3. Building a water distribution network hydraulic model by using WaterGEMS / B. Jiang, F. Zhang, J. Gao, H. Zhao // ICPTT 2012: Better Pipeline Infrastructure for a Better Life. – Reston: ASCE, 2013. – P. 453–461.
4. MIKE URBAN Modelling & GIS for water in the city [Electronic resource]. – URL: <http://www.dhigroup.com/upload/publications/scribd/mikebydhi-mikeurban-product-flyer.pdf> (accessed: 02.06.2017).
5. Ormsbee L.E. The history of water distribution network analysis: the computer age // Proceedings of WDSA 2006: Water Distribution System Analysis Symposium, Cincinnati (USA), 27–30 August 2006. – Cincinnati: University of Cincinnati, 2006. – P. 1–6. – ISBN 978-0-7844-0941-1.
6. CWSNET: an object-oriented toolkit for water distribution system simulations / M. Guidolin, P. Burovskiy, Z. Kapelan, D. Savić // Water Distribution Systems Analysis 2010. – Reston: ASCE, 2010. – P. 1–13.
7. SIMONE SOFTWARE Simulation [Electronic resource]. – URL: <http://www.simone.eu/simone-simonesoftware-simulation.asp> (accessed: 02.06.2017).
8. DNV GL releases new version of Synergi Pipeline Simulator [Electronic resource]. – URL: <https://www.dnvgl.com/news/dnv-gl-releases-new-version-of-synergi-pipeline-simulator-30674> (accessed: 02.06.2017).
9. ZuluHydro. Гидравлические расчеты водопроводных сетей [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.politerm.com/products/hydro/zuluhydro/> (дата обращения: 02.06.2017).
10. ИГС "CityCom-ТеплоГраф" [Electronic resource]. – URL: <http://www.citycom.ru/citycom/heatgraph/index.php> (дата обращения: 02.06.2017).
11. Алексеев А.В. Принципы разработки и реализации информационно-вычислительной среды для компьютерного моделирования трубопроводных и гидравлических систем // Труды Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии». – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2004. – С. 124–130.

12. Алексеев А.В., Новицкий Н.Н. Информационно-вычислительная среда «АНГАРА» 1.4: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014660408. – Зарег. 07.10.2014.

13. Принципы разработки и программная реализация информационно-вычислительной среды для компьютерного моделирования трубопроводных и гидравлических систем / А.В. Алексеев, Н.Н. Новицкий, В.В. Токарев, З.И. Шалагинова // Методы исследования, управления и оптимизации трубопроводных систем энергетики: сборник научных трудов. – Новосибирск: Наука, 2007. – С. 221–229.

14. Алексеев А.В., Новицкий Н.Н., Михайловский Е.А. Опыт разработки и применения информационно-вычислительной среды «АНГАРА» для интеграции методов теории гидравлических цепей // Трубопроводные системы энергетики: методические и прикладные проблемы математического моделирования. – Новосибирск: Наука, 2015. – С. 418–432.

15. Многоуровневое моделирование теплогидравлических режимов больших систем теплоснабжения / З.И. Шалагинова, Н.Н. Новицкий, В.В. Токарев, О.А. Гребнева // Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. – С. 389–399.

16. Алексеев А.В., Новицкий Н.Н., Мелехов Е.С. Информационно-вычислительный комплекс для автоматизации диспетчерского управления системами водоснабжения и водоотведения // Вестник ИргТУ. – 2014. – № 6. – С. 12–18.

Алексеев Александр Владимирович, старший научный сотрудник лаборатории трубопроводных и гидравлических систем Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. Основные научные интересы: поиск допустимых режимов работы трубопроводных систем, разработка и внедрение методов теории гидравлических цепей для решения задач диспетчерского управления трубопроводными системами, компьютерное моделирование. Имеет более 40 научных публикаций. E-mail: alexeev@isem.irk.ru

Новицкий Николай Николаевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией трубопроводных и гидравлических систем Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. Основные научные интересы: теория гидравлических цепей, теория и методы анализа, управления, оптимизации и идентификации ТПС, математическое моделирование, компьютерное моделирование, информационно-вычислительные технологии, программно-вычислительные комплексы. Имеет около 200 научных публикаций. Y-mail: pipenet@isem.irk.ru

The "ANGARA" computer technology for the integration of the information and computer space in pipeline and hydraulic system modeling*

A.V. ALEXEEV¹, N.N. NOVITSKY²

¹ *Melentiev Energy Systems Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ESI SB RAS), 130, Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia; PhD (Eng.). alexeev@isem.irk.ru*

² *Melentiev Energy Systems Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ESI SB RAS), 130, Lermontov St., Irkutsk, , 664033, Russia; D.Sc. (Eng.). pipenet@isem.irk.ru*

The paper describes the problems of the development of the information-computer environment "ANGARA" for computer modeling of pipeline and hydraulic systems of various types and purposes. This environment meets the requirements of adaptability, scalability and extensibility of the information and computing functional.

The principles of the information-computer environment creation are formulated. The application of these principles allows obtaining a universal software product that fully meets the ideology of the theory of hydraulic circuits and makes it possible to model various pipeline

* Received 24 April 2017 г.

systems for various purposes. A structure for storing computational model data in standard relational databases has been developed. It ensures the openness and scalability of data and allows using the “ANGARA” software in computer networks. The principles and mechanisms of the hierarchical, parallel and embedded presentation of the calculation schemes are presented.

The characteristic of the state-of-the-art “ANGARA” software developed at ISEM SB RAS for configuring and applying the information environment and software implementations of the theory of hydraulic circuits for modeling pipeline systems of various purposes within the framework of a single graphical user interface is given. The example of creating a single information-computational environment of the enterprise on the basis of “ANGARA” is given. It includes information on maps, a pipeline layout, parameters of elements, damages and switching in the network, contracts and planned consumer loads, as well as the results of technological parameter measurements. “ANGARA” includes software packages for calculating and analyzing the modes of two different types of pipeline systems, namely water supply and water disposal.

Keywords: computer modeling, pipeline systems, information-computer environment, software and computer complexes, databases, multilevel modeling, single information space

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-2-26-41

REFERENCES

1. Merenkov A.P., Khasilev V.Ya. *Teoriya gidravlicheskih tsepei* [Theory of hydraulic circuits]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 278 p.
2. Merenkov A.P., ed. *Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya sistem teplo-, vodo-, nefte-, gazosnabzheniya* [Mathematical modelling and optimization of heat-, water-, oil-, gas supply systems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1992. 406 p.
3. Jiang B., Zhang F., Gao J., Zhao H. Building a water distribution network hydraulic model by using WaterGEMS. *ICPTT 2012: Better Pipeline Infrastructure for a Better Life*. Reston, ASCE, 2013, pp. 453–461.
4. *MIKE URBAN Modelling & GIS for water in the city*. Available at: <http://www.dhigroup.com/upload/publications/scribd/mikebydhi-mikeurban-product-flyer.pdf> (accessed 02.06.2017).
5. Ormsbee L.E. The history of water distribution network analysis: the computer age. *Proceedings of WDSA 2006: Water Distribution System Analysis Symposium*, Cincinnati (USA), 27–30 August 2006, pp. 1–6. ISBN: 978-0-7844-0941-1.
6. Guidolin M., Burovskiy P., Kapelan Z., Savić D. CWSNET: an object-oriented toolkit for water distribution system simulations. *Water Distribution Systems Analysis 2010*. Reston, ASCE, 2010, pp. 1–13.
7. *SIMONE SOFTWARE Simulation*. Available at: <http://www.simone.eu/simone-simone-software-simulation.asp> (accessed 02.06.2017).
8. *DNV GL releases new version of Synergi Pipeline Simulator*. Available at: <https://www.dnvgl.com/news/dnv-gl-releases-new-version-of-synergi-pipeline-simulator-30674> (accessed 02.06.2017).
9. ZuluHydro. Hydraulic calculations of water supply systems. Available at: <https://www.poli-term.com/products/hydro/zuluhydro/> (accessed 02.06.2017). (In Russian).
10. *IGS "CityCom-TeploGraph"*. Available at: <http://www.citycom.ru/citycom/heatgraph/index.php> (accessed 02.06.2017). (In Russian).
11. Alekseev A.V. [Principles of development of Information-computer environment for computer modelling of pipeline and hydraulic systems]. *Trudy Baikal'skoi Vserossiiskoi konferentsii "Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii"* [Proceedings of Baikal all-Russia conference "Informational and mathematical technologies"]. Irkutsk, ESI SB RAS Publ., 2004, pp. 124–130. (In Russian).
12. Alekseev A.V., Novitskii N.N. *Informatsionno-vychislitel'naya sreda "ANGARA" 1.4* [Information-computer environment "Angara" 1.4]. The Certificate on official registration of the computer program. No. 2014660408, 2014. (In Russian).
13. Alekseev A.V., Novitskii N.N., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Printsipy razrabotki i programmaya realizatsiya informatsionno-vychislitel'noi sredy dlya komp'yuternogo modelirovaniya

truboprovodnykh i gidravlicheskiykh sistem [Principles of development and software implementation of Information-computer environment for computer modelling of pipeline and hydraulic systems]. *Metody issledovaniya, upravleniya i optimizatsii truboprovodnykh sistem energetiki* [Methods of Exploration, control and optimization of Energy pipeline systems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2007, pp. 221–229.

14. Alekseev A.V., Novitskii N.N., Mikhailovskii E.A. Opyt razrabotki i primeniya informatsionno-vychislitel'noi sredy "ANGARA" dlya integratsii metodov teorii gidravlicheskiykh tsepei [The experience of development and application of Information-computer environment "Angara" for integration of methods of the hydraulic circuits theory]. *Truboprovodnye sistemy energetiki: metodicheskie i prikladnye problemy matematicheskogo modelirovaniya* [Pipeline systems of energy: methodical and application problems of mathematical modelling]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2015, pp. 418–432.

15. Shalaginova Z.I., Novitskii N.N., Tokarev V.V., Grebneva O.A. Mnogourovnevoe modelirovanie teplogidravlicheskiykh rezhimov bol'shiykh sistem teplosnabzheniya [Multilevel modelling of thermal-hydraulic modes of large heat supply systems]. *Energetika Rossii v XXI veke. Innovatsionnoe razvitiye i upravlenie* [Russian Energy in XXI century. Innovation development and control]. Irkutsk, ESI SB RAS Publ., 2015, pp. 389–399.

16. Alekseev A.V., Novitskii N.N., Melehev E.C. Informatsionno-vychislitel'nyi kompleks dlya avtomatizatsii dispetcherskogo upravleniya sistemami vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Information-computer complex for automation of dispatch control of water supply systems]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2014, no. 6, pp. 12–18.