УДК 625.78

О.И. Жуковский, Ю.Б. Гриценко

Типология инженерных сетей и классификация задач их эксплуатации

Приведена типология инженерных сетей и предложена классификация задач, решаемых в ходе их эксплуатации. Рассмотрены особенности основных классов задач: задачи инвентаризации, паспортизации, учета; задачи пространственного моделирования; задачи предпроектного и эксплуатационного анализа; задачи моделирования жизненного цикла объектов и оборудования; задачи информационного обеспечения процессов управления и анализа инженерных сетей.

Ключевые слова: инженерные сети, типология инженерных сетей, классификация задач инженерных сетей.

Инженерные сети, являясь основой инженерной инфраструктуры, в значительной мере определяют устойчивость развития как промышленных, так и социально-экономических территориальных образований. Надежность функционирования, качество транспортировки технологических и энергетических продуктов при эксплуатации инженерных сетей зависят от эффективности проведения процесса мониторинга их текущего состояния.

Инженерные сети осуществляют централизованное снабжение рассредоточенных потребителей электрической и тепловой энергией, топливом, водой или другими транспортируемыми продуктами. Спектр объектов, представляющих в совокупности инженерную сеть, весьма широк и разнообразен. Кроме того, инженерные сети имеют четкую ведомственную принадлежность, которая диктуется, главным образом, видом транспортируемого продукта, а также технологией его добычи, переработки, транспортировки и потребления. Сложность вопросов проектирования и создания инженерных сетей определила тематику многих публикаций, научно-методических и алгоритмических разработок.

Инженерные сети могут быть типологизированы в зависимости от семантического и масштабного типа плана местности, физических и математических признаков, а также технологических различий.

Первой, и наиболее общей, является классификация *по виду транспортируемого продукта и способу транспортировки*:

- *кабельные сети* – электрические воздушные, электрические кабельные подземные, низкого / высокого напряжения, контактные сети, телефонные сети; сети передачи данных (электрические, оптоволоконные), телерадиосети;
- *трубопроводные сети* – водоснабжение (горячее, холодное), водоотведение (бытовая, ливневая, техническая канализация), теплоснабжение (с разными теплоносителями), газопроводные, нефтепроводные, продуктопроводные, вентиляционные, пневматические;
- *дорожные сети*: автомобильные и рельсовые дороги, метрополитен, фуникулер и т. д.

Достаточно значимой является классификация ***по масштабному признаку***, в которой под масштабом подразумеваются следующие измерения: линейные размеры сети (длина линий), топологическая размерность (число узлов, линий), место в иерархии (магистральные, муниципальные, внутриквартальные и внутризаводские; внутренние сети зданий и сооружений).

Не менее важна и ***топологическая структура сети*** (топология сети при передаче продукта). Сети могут быть разомкнутыми (односвязными, древесными) и замкнутыми (многосвязными, циклическими).

Несмотря на значительные различия в типе транспортируемого продукта и технологиях, используемых эксплуатационными организациями, современные инженерные сети характеризуются рядом общих специфических особенностей:

1) обширным территориальным распределением и огромным числом элементов, формирующих систему;

2) непрерывным развитием в пространстве и во времени;

3) сложной иерархической структурой управляемой и управляющих систем и непосредственным наличием субъекта в контуре управления;

4) непрерывностью во времени процессов транспортировки и распределения целевого продукта;

5) высокой степенью централизации управления с одновременной децентрализацией оперативного управления технологическими процессами транспортировки и распределения целевого продукта;

6) инерционностью процессов транспортировки продукта и необходимостью создания его оперативных запасов в резервуарах и хранилищах.

Наличие общих специфических особенностей позволяет формировать обобщенные классы прикладных задач управления инженерными сетями.

Задачи инвентаризации, паспортизации, учета. Данный класс задач является базовым в управлении инженерными сетями. Все виды сетей имеют средства мониторинга объектов и оборудования с целью инвентаризации, паспортизации и учета. С учетом различных подходов к инвентаризации можно выделить некоторые характерные черты [1]. Во-первых, целью инвентаризации является точное определение наличия объектов, оборудования сетей и их уникальная идентификация. Во-вторых, цель инвентаризации состоит в выяснении состояния оборудования и степени его износа. ***Инвентаризация*** – непрерывный процесс, сопровождающий ввод в эксплуатацию новых объектов и оборудования, обследование эксплуатируемых и списание старых объектов и оборудования.

Эта задача тесно связана с ***паспортизацией объектов и оборудования***. Паспорт объекта (оборудования) включает:

- типовые инвентарные данные (даты создания и ввода в эксплуатацию, балансовую стоимость, инвентарные и заводские номера, текущий износ);
- технологическую информацию об объекте (тип, ГОСТ, мощность, типовые значения эксплуатационных и иных параметров и т.п.);
- параметрическую информацию об объекте (текущие эксплуатационные параметры, которые могут быть отличны от типовых).

Отдельной задачей является ***учет расходования материалов и энергоресурсов*** в процессе эксплуатационной деятельности инженерных сетей. Эта задача имеет тесную связь с моделированием жизненного цикла объектов и оборудования сетей.

Задачи пространственного моделирования сетей. Инженерные сети представляют собой пространственные объекты, имеющие, как правило, достаточно крупные масштабы. Взаимное расположение элементов инженерных сетей, их пространственная структура являются весьма важными характеристиками. Для эксплуатации любой инженерной сети необходима полная и достоверная информация о расположении объектов и оборудования сети, которая содержится в формах представления пространственной информации о сетях [6]:

- ***принципиальных (технологических) схемах сетей***, в которых указаны параметры элементов сетей, потребителей, источников, состояний коммутаторов. Данные схемы представляют собой внемасштабное изображение структуры сети. Как правило, они могут иметь разные уровни детализации, представляющие ту или иную часть сети. В различных сетях для изображения объектов и оборудования используются разные типовые обозначения. Эта информация необходима для диспетчерских служб и отделов планирования конфигурации сети. Схемы являются источником данных для расчетных задач и задач анализа топологии;
- ***планах расположения объектов и оборудования сетей*** на местности. Содержащаяся в них информация необходима для эксплуатационных бригад, планирования строительства, согласования вскрышных и других работ, экологического анализа, анализа близости различных объектов на местности и объектов сетей, проведения различного вида расчетов. Карты и планы территорий, где проложена сеть, составляют топооснову, которая используется при разработке планов расположения объектов и оборудования сети. Топооснова должна иметь определенную точность, необходимую для привязки к ней объектов сети.

Содержащаяся в планах информация используется для решения ***задачи построения профиля участков*** инженерных сетей.

Задачи предпроектного анализа. Задачи этого класса чаще всего ставятся при проведении реконструкции во время эксплуатации. К ним относятся расчеты нагрузок потребителей, календарных и часовых графиков их изменения, режимов работы источников [1]. Особенностью расчета нагрузок потребителей является невозможность их точного предварительного определения в ряде случаев. В таких ситуациях используются типовые оценки для разных типов потребителей. Необходимость расчета календарных и суточных графиков нагрузок вызвана сильной зависимостью потребления от времени года и суток.

Задачи моделирования жизненного цикла объектов и оборудования

Задачи моделирования жизненного цикла оборудования можно разделить на три основных вида [1]:

1) ***моделирование технологического состояния оборудования и событий.*** Для всех видов объектов и оборудования требуется иметь полную информацию о следующих событиях:

- времени обнаружения и устранения неисправностей;
- времени проведения регламентных и ремонтно-восстановительных работ с указанием исполнителей данных работ;
- динамике изменения остаточного ресурса;

2) ***отслеживание параметров оборудования,*** состоящее в регистрации и накоплении значений основных параметров оборудования, позволяющих проводить ретроспективный анализ их изменения. Это дает возможность предупреждать выход оборудования из строя, оценивать и учитывать его индивидуальные особенности;

3) ***отслеживание конфигурации сети*** во времени, заключающееся в накоплении информации обо всех изменениях режима работы элементов сети. Данная информация позволяет проводить ретроспективные анализы работы диспетчеров и режимов сети.

Эксплуатационный анализ. К задачам этого класса относятся задачи расчета потокораспределения и режима, при решении которых используются следующие определения [6]:

- *потокораспределение* – набор величин значений потоков транспортируемого продукта в линиях передачи и значений потенциалов (давления, напряжения, очереди на обработку) в узлах инженерной сети;
- *режим* – набор значений управляющих параметров и соответствующее им потокораспределение. Режим должен удовлетворять потребителей сети с точки зрения обеспечения требуемых параметров.

Большинство задач эксплуатационного анализа базируется на предварительном вычислении потокораспределения. Задачами данного класса являются:

- ***прямой расчет потокораспределения***, составляющий основу решения большинства задач. Входными данными в задаче являются параметры оборудования и объектов сети, состояния коммутаторов, значения нагрузок абонентов. Результатом расчета является потокораспределение целевого продукта внутри инженерной сети. Прямой расчет потокораспределения дает информацию о функционировании сети и качестве обеспечения абонентов услугой;
- ***расчет режима***, в котором входными данными являются параметры оборудования и объектов сети, текущие состояния коммутаторов, значения нагрузок абонентов и список управляемых параметров оборудования, доступных для регулирования. Результатом расчета является режим. Расчет режима позволяет получить информацию о величине воздействия на сеть, которая необходима для ввода в режим, удовлетворяющий поставленным эксплуатационным и абонентским требованиям;
- ***расчет требуемых технологических параметров***, для которого входными данными являются параметры оборудования и объектов сети, текущие состояния коммутаторов, значения нагрузок абонентов и список технологических параметров оборудования, доступных для изменения. Результатом расчета будет являться режим и набор измененных технологических параметров. С помощью данного расчета могут быть определены параметры оборудования для вновь создаваемой или реконструируемой сети, а также решена режимная задача при изменении регулируемых параметров элементов сети;
- ***расчет потерь,*** в котором входными данными являются показатели потокораспределения. Результатом расчета является набор значений энергетических, тепловых, мощностных или иных потерь для всех элементов сети и для сети в целом. Расчет потерь предоставляет информацию об эффективности функционирования сети. Кроме того, он позволяет выявлять «узкие места» сети и проводить экономическое обоснование для изменения конфигурации или параметров оборудования;
- ***поиск участков сети с заданной топологией***, для которого входными данными являются показатели конфигурации сети, а выходными – участки сети с заданной топологией (например, односвязные участки);
- ***оптимизационные расчеты***, в которых входными данными являются параметры оборудования и объектов сети, текущие состояния коммутаторов, значения нагрузок абонентов. Оптимизация производится по потерям, расходуемой энергии либо другим критериям. Результатом является оптимальный режим и набор измененных технологических параметров. Оптимизационные расчеты предоставляют информацию по оптимальному конфигурированию сети: выбор режима, в котором оборудование действует с максимальной эффективностью; возможная замена оборудования для достижения оптимального результата.

Задачи информационного обеспечения процессов управления и анализа инженерных сетей. К задачам информационного обеспечения относятся задачи, выполняемые непосредственно в автоматизированной системе управления территориально распределенными сетями [1]:

- построение запросов к графическим (пространственным) и атрибутивным данным;
- генерация отчетов, справок с использованием атрибутивных и графических данных;
- генерация планов работ с использованием необходимых графических видов, композиций.

Приведенная классификация задач позволяет сформировать приоритеты по степени необходимости их выполнения:

1) задача оперативного получения информации об инженерных сетях в любой части интересующей территории, включая здания и сооружения;

2) задача совместного представления различных инженерных сетей на едином плане (топооснове), реализуемая с использованием задачи систематизации на топографической основе информации об объектах сетей;

3) задачи полного отслеживания неисправностей, регламентных и ремонтно-восстановительных работ, а также контроля их сроков и качества выполнения;

4) задача ведения архива документов по всем объектам сети и эксплуатационным событиям, по результатам которой осуществляется сбор данных для решения задачи автоматизации формирования текущих документов и выходных форм отчетности;

5) задачи информационного обеспечения для планирования работ по реконструкции и ремонту инженерных сетей, а также автоматическое отслеживание остаточного ресурса оборудования.

Вышеперечисленные задачи необходимо решать различным службам предприятий, эксплуатирующим или проектирующим соответствующий вид инженерных сетей. Сегодня невозможно себе представить, чтобы эти задачи решались без применения современных компьютерных технологий, что подразумевает создание автоматизированной системы управления инженерной сетью. Современным АСУ присущи, прежде всего, черты информационных систем, поскольку весомая доля их функций приходится на работу с базами данных паспортной и оперативной технологической информации.

Если говорить об уровне автоматизации отдельных классов рассматриваемых задач, то наиболее высоким он является для задач, связанных с паспортизацией объектов сети. Автоматизация деятельности любого предприятия начинается, как правило, с решения проблемы перехода к безбумажной технологии ведения реестра объектов. Для автоматизации решения этой задачи применимы традиционные методы проектирования информационных систем [8].

Автоматизация прочих классов задач невозможна без создания сложной цифровой модели территориально распределенной инженерной сети. Компонентами цифровой модели должны быть: для задач представления сетей на картах и схемах – данные о координатной привязке и пространственном взаиморасположении объектов; для задач диспетчеризации и моделирования – данные о структуре сети и оперативная технологическая информация о ее параметрах; для задач оптимизации и анализа – данные о динамике изменения режимов сети, инфраструктуре и окружающей среде.

При создании информационных систем, решающих задачи управления инженерными сетями, объективно возникает ряд проблем, общих для разработки больших информационных систем со сложным программным обеспечением. Однако можно выделить проблемы, которые в той или иной мере можно считать специфическими, присущими только рассматриваемому классу информационных систем. Среди таких проблем основными являются следующие:

1) информационная система должна выполнять большой блок геоинформационных функций, т.е. включать модули для визуализации и редактирования цифровых карт, выполнения пространственного анализа, поскольку решение задач, связанных с представлением сетей на топографических картах, топопланах и технологических схемах, требует хранения и оперирования пространственно привязанной информацией;

2) в информационной системе должна быть предусмотрена возможность установления между объектами сети различного рода отношений (топологических, ресурсных и др.), которые давали бы структурное определение сети, что обусловлено необходимостью хранения и оперирования информацией о структуре (топологии) сети для решения некоторых групп задач оперативного управления, оптимизации и др.

Автоматизированная информационная система, способная решать вышеперечисленные проблемы управления инженерными сетями того или иного типа, должна включать механизмы реали-

зации формализованного математического описания модели данных ГИС с широкими возможностями по представлению неметрических отношений между пространственными объектами, а также методы и алгоритмы решения прикладных задач управления инженерными сетями и инструментальные средства для создания и развития программного обеспечения проблемно ориентированных ГИС. Возможным решением описанных выше задач является использование **геоинформационных технологий** в процессе эксплуатации инженерной сети, предназначенных, прежде всего, для создания базы данных об истинных параметрах и топологии сети (ведение кадастра сети) [1].

Наличие территориальной привязки информационного объекта позволяет производить объединение данных об объекте в территориально административном разрезе. Территориальная привязка может задаваться в позиционном представлении или географическими координатами, а также в виде семантического признака.

Семантические характеристики (атрибуты) информационного объекта представляют собой совокупность признаков объекта. Состав атрибутов должен определяться с учетом их необходимости и достаточности для формального описания объекта при решении задач управления инженерной сетью.

Описание пространственных объектов в ГИС, т.е. формализованное представление их свойств, включает указание их позиционной и содержательной определенности. Позиционная часть описания данных организуется в определенные структуры *пространственных данных*, связанных некоторыми отношениями с их *непозиционными данными* (атрибутами) [2]. Для того чтобы рассмотреть содержание любой инженерной сети, требуется указать возможные виды связей и взаимодействий, что достигается применением формализованного аппарата теории отношений.

Выполнение данной работы проводилось при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках мероприятия 2.4 Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы», проект «Разработка Web-ориентированных геоинформационных технологий формирования и мониторинга электронного генерального плана инженерной инфраструктуры».

Литература

1. Гриценко Ю.Б. Геоинформационные технологии мониторинга инженерных сетей / Ю.Б. Гриценко, Ю.П. Ехлаков, О.И. Жуковский. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2010. – 148 с.
2. Тикунов В.С. Основы геоинформатики. – М.: Академия, 2004. – Т. 1. – 400 с.

Жуковский Олег Игоревич
Канд. техн. наук, доцент каф. АОИ ТУСУРа
Тел.: (382-2) 41-44-70
Эл. почта: ol@muma.tusur.ru

Гриценко Юрий Борисович
Канд. техн. наук, доцент каф. АОИ ТУСУРа
Тел.: (382-2) 41-44-70
Эл. почта: ubg@muma.tusur.ru

Zhukovskiy O.I., Gritsenko Yu.B.

Typology of engineering networks and classification of problems of their operation

In the article the typology of engineering networks is given and the classification of the problems solved during their operation is offered. The features of the basic classes of problems are considered: problems of inventory, certification and account; problems of spatial modelling; problems of predesign and operational analysis; problems of modelling of life cycle of objects and the equipment; problems of information supply of managerial processes and the analysis of engineering networks.

Keywords: engineering networks, typology of engineering networks, classification of problems of engineering networks.