

Курс «Общая теория цепей и сетей»

Андрей Михайлович Кириллов

Сочинский государственный университет, Российская Федерация
354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, 26 а
Кандидат физико-математических наук
E-mail: kirill806@gmail.com

Аннотация. Статья является прологом к дискуссии о целесообразности введения в учебные планы специальностей инженерного профиля курса «Общая теория цепей и сетей». Представлена концепция курса, в рамках которого рассматриваются обобщенные законы функционирования и расчета цепей (электрических, магнитных, гидравлических, газовых, транспортных и т.п.) и сетей (компьютерных, электроснабжения, газоснабжения, водоснабжения, теплоснабжения, канализации, транспортных и т.п.).

Ключевые слова: цепь; сеть; топология; логистика; теория графов; система; электроснабжение; газоснабжение; теплоснабжение; водоснабжение; транспорт.

Введение. Всё в мире (как живой, так и неживой природы) находится в движении. В движении не в узком механическом смысле, а в движении, под которым подразумеваются любые происходящие изменения. Между объектами окружающего нас мира происходят различного рода взаимодействия: происходит обмен веществом, энергией, информацией. Одним словом – энергоинформационный обмен.

Группа взаимодействующих объектов, подчиняющаяся каким-либо единым законам, локализованная пространственно (в физическом или логическом пространстве) и во времени; состояние которой в целом зависит от состояний ее составных частей и, наоборот, когда состояние отдельной части зависит от состояния всей группы, называется *системой*. Понятие, обобщающее любые взаимодействия, при которых существуют потоки вещества, энергии и информации, называется *транспортом*. Структура подобного рода взаимодействий, их модели, описываются понятиями – *цепь* и *сеть* (два уровня описания систем: цепь – микроуровень, сеть – макроуровень).

Сети и цепи, независимо от их физической природы, чаще всего функционируют по одинаковым законам и математически описываются одинаковым набором уравнений. В графических изображениях цепей и сетей используются одинаковые топологические элементы: узлы, ветви, контуры. Например, в курсе электротехники при расчетах что электрических, что магнитных цепей применяются аналогичные понятия и законы (напряжение электрическое и магнитное, законы Ома и Кирхгофа и др.) [1]. Аналоги законов Кирхгофа и величин, подобных электрическим, существуют и в гидравлических цепях [2, 3].

В настоящее время *сетевые структуры* исследуются достаточно интенсивно, как с теоретической [4, 5], так и с прикладной точек зрения [6, 7]. В сетевой модели объекты взаимодействия представляются в виде узлов, между которыми существуют связи. По сравнению с цепями, сетевая модель применяется для более «объемных» и структурированных, как «по горизонтали», так и «по вертикали», систем. Например, это компьютерные сети и Интернет; системы электроснабжения и других типов ресурсоснабжения, газотранспортные системы; железнодорожный, автомобильный и авиатранспорт; и др.

Одной из наиболее продуктивных математических теорий, используемых при описании и расчетах сетей, является *теория графов* [8], которая в технических ВУЗах может рассматриваться в рамках курса дискретной математики (теория множеств). *Граф* – система, которая может быть рассмотрена как множество кружков и множество соединяющих их линий (геометрический способ задания графа) (рис. 1). Кружки называются *вершинами* графа, линии со стрелками – *дугами*, без стрелок – *ребрами*.

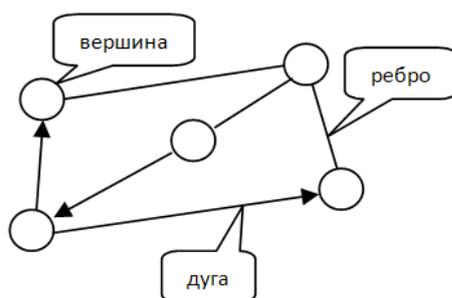


Рис. 1. Пример графа

В городе, например, дома, сооружения, кварталы и т.п. рассматриваются как вершины, а соединяющие их дороги, линии электропередачи и другие коммуникации – как рёбра. Расчеты на таком графе, позволяют найти, например, кратчайший объездной путь или ближайшую аптеку, спланировать оптимальный маршрут и т.п.

Развиваемая теория сетей особенно актуальна в ее приложении к городскому хозяйству. Город (городское хозяйство) является сложной системой, содержащей большое количество взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, обеспечивающих выполнение системой различных функций [9-11]. Например, при проектировании и прокладке сети электропередач в городе обязателен учет расположения транспортной сети. С другой стороны невозможно рассмотрение транспортной сети отдельно от сети сооружений и коммуникаций, на территории которой она расположена. Таким образом, город и городское хозяйство может рассматриваться как многослойная сеть.

Материалы и методы. Материалом для анализа проблемы, рассматриваемой в статье, являются учебные планы специальностей Инженерно Экологического Факультета (ИЭФ) Сочинского Государственного Университета (СГУ) (рис. 2), а также личный опыт автора, являющегося преподавателем в данном ВУЗе.

Индекс	Наименование		
		Экзамены	Зачеты
Б2.Б.1	Математика	1-3	
Б2.Б.2	Информатика	2	1
Б2.Б.5	Физика	3	2
Б2.Б.6	Экология	3	
Б2.Б.8	Инженерное обеспечение строительства	2	2
Б2.Б.8.1	Инженерная геодезия	2	1
Б2.Б.8.2	Инженерная геология		2
Б2.В.ОД.1	Основы гидравлики и теплотехники		4
Б2.В.ОД.3	Строительная физика и теплофизика		3
Б2.В.ОД.4	Экология городской среды		6
Б3.Б.4	Инженерные системы зданий и сооружений	5	
Б3.Б.4.1	Общая электротехника и электроснабжение, вертикальный транспорт	4	
Б3.Б.4.2	Теплогасоснабжение и вентиляция	5	
Б3.Б.4.3	Водоснабжение и водоотведение	5	
Б3.Б.4.4	Технологические процессы в строительстве	5	
Б3.Б.4.5	Основы организации и управления в строительстве		6
Б3.В.ОД.2	Городские инженерные системы		8
Б3.В.ОД.3	Основы планировки, застройки и реконструкции населенных мест		56
Б3.В.ОД.5	Экономика городского строительства и хозяйства		8
Б3.В.ОД.6	Эксплуатация городских территорий		7
Б3.В.ОД.13	Автоматизированное проектирование объектов городского строительства		6
Б3.В.ОД.14	Инженерные изыскания, инвентаризация и реконструкция застройки		6
1	Городские пути сообщения и транспорт		
2	Комплексное обеспечение качества, безопасности и ресурса сбережения при эксплуатации, ремонте и реконструкции зданий и курортных комплексов		
2	Геоинформационные системы		

Рис. 2. Фрагменты учебного плана бакалавриата специальности ГСХ (городское строительство и хозяйство)

Обсуждение проблемы и результаты. Личный опыт автора показывает, что студенты, как правило, не видят взаимосвязи между изучаемыми ими дисциплинами. Какие-либо междисциплинарные курсы в учебных программах практически отсутствуют. В результате образование становится не системным, а фрагментарным, что негативно сказывается на качестве подготовки специалистов.

Студентами ИЭФ СГУ изучаются такие курсы как «Основы гидравлики и теплотехники», «Теплогазоснабжение и вентиляция», «Водоснабжение и водоотведение», «Инженерные системы зданий и сооружений», «Городские инженерные системы», «Общая электротехника и электроснабжение», «Городские пути сообщения и транспорт», «Геоинформационные системы» (рис. 2). В этом случае своего рода *системным интегратором* мог бы стать курс «Общая теория цепей и сетей», роль которого заключается в обобщении законов функционирования и расчета инженерно-технических систем, моделируемых цепями и сетями. В этом случае студенты воспринимали бы изучаемые ими дисциплины не обособленно, а системно. Художественно выражаясь, можно сказать, что «фрагменты мозаики сложились бы в единый витраж».

В первую очередь при разработке такого курса следует обратить внимание на его математическую базу. При использовании, например, законов Кирхгофа при расчете цепей (электрических, гидравлических и др.) мы имеем дело с системами алгебраических уравнений [1]. Поэтому необходимо закрепление материала, касающегося решения систем таких уравнений (методы Крамера, Гаусса и др.) [12]. Также необходимо большее внимание уделить такой теме дискретной математики как «Теория графов». Как уже говорилось выше, теория графов является одним из наиболее продуктивных методов расчета сетевых структур.

В цепях и сетях присутствуют потоки, у которых конечно есть источники и которые характеризуются некоторой интенсивностью. Интенсивность потоков зависит от разности потенциалов некоторого силового поля между частями рассматриваемой системы (цепи). В случае, например, электрической цепи – это разность электрических потенциалов, гидравлической цепи – разность давлений, в тепловой цепи – разность температур и т.п. Распределение, а точнее, скорость изменения значения какой-либо величины в пространстве характеризуют *градиентом*. В рассмотренных примерах речь, таким образом, идет о градиенте электрического потенциала, градиенте давления и градиенте температуры, соответственно. Поэтому в курсе математики должно уделяться внимание *общей теории поля*. В результате должны быть освоены такие понятия как векторное и скалярное поля, поток векторного поля, градиент поля, истоки и стоки поля, теорема Гаусса (Остроградского-Гаусса) [12]. Эти же вопросы встречаются и в курсе «Общей физики», что тоже должно каким-либо образом отмечено.

В рассматриваемом курсе должны изучаться общие вопросы топологии цепей и сетей. Здесь необходимо рассмотрение: 1) общих топологических элементов, характерных для цепей и сетей любой природы (например, узел, ветвь, контур цепи); 2) видов соединений элементов в цепях (параллельное, последовательное и др.); 3) видов сетевой топологии (звезда, шина и др.) (рис. 3).

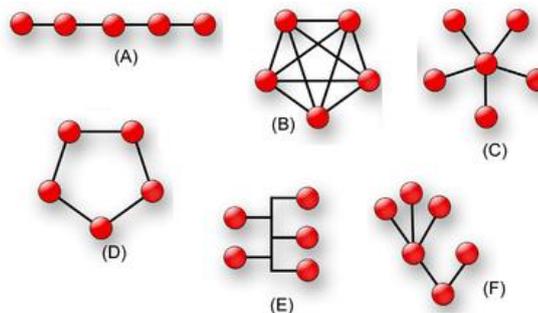


Рис. 3. Сетевая топология: А – линия; В – полностью связанная; С – звезда; D – кольцо; E – шина; F – дерево

Как уже отмечалось выше, между элементами цепей и сетей существует транспорт (потоки) вещества (энергии, информации и т.п.). Поэтому при рассмотрении сложных систем, представляемых в виде цепей или сетей, неизбежно возникают задачи оптимизации взаимодействия (например, оптимизация маршрутов при перемещении материальных объектов). Данные задачи являются предметом *логистики*.

У логистики как науки множество направлений. Это, например, складская логистика, транспортная логистика [13] и др. Для города, как сложной системы (многослойной сети), существует *городская логистика* [14] (сити-логистика, муниципальная логистика) – комплекс логистических решений, действий, процессов, нацеленных на оптимизацию управленческих решений администрации, потоков материалов, транспортных средств, людей, знаний, энергии, финансов, информации в рамках подсистем города и его инфраструктуры.

Таким образом, включение логистики в рассматриваемый курс представляется крайне необходимым.

Важной задачей разрабатываемого курса является разработка глоссария, обобщающего терминологию курса. Ниже, в качестве примера, приведен фрагмент подобного глоссария (табл. 1).

Таблица 1

Фрагмент глоссария курса «Общая теория цепей и сетей»

<i>Градиент</i> – характеристика скорости изменения какой-либо величины в некотором направлении.
<i>Граф</i> – представление взаимодействующих объектов как вершин или узлов графа, а связей – как дуг или рёбер графа.
<i>Контур</i> – замкнутый участок цепи, образованный ветвями и узлами цепи.
<i>Логистика</i> – учение о планировании, управлении и контроле движения (перемещения) материальных, информационных и финансовых ресурсов в различных системах.
<i>Поток</i> – перемещение чего-либо (энергии, электрического заряда, жидкости и т.п.) в определенном направлении.
<i>Связи междуузловые</i> – взаимодействия между узлами сети.
<i>Сеть</i> – совокупность каких-нибудь линий, расположенных в определённой системе (железнодорожная сеть, электрическая сеть и др.).
<i>Узел цепи</i> – любая точка разветвления цепи, в которой сходится (расходится) не менее трех потоков.
<i>Узел сети</i> – элементы сложных систем.

Внутренняя структура курса «Общая теория цепей и сетей» и его взаимосвязи с другими изучаемыми в техническом ВУЗе дисциплинами приведена на рис. 3.

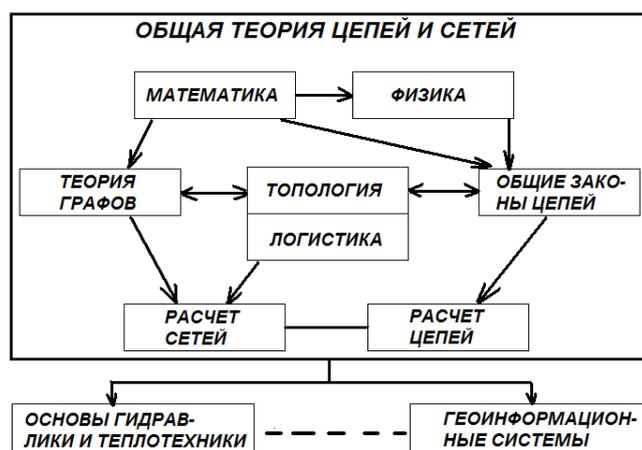


Рис. 4. Структурная схема курса «Общая теория цепей и сетей» и его взаимосвязи с другими изучаемыми дисциплинами

Заключение. Так как сетевые структуры имеют место не только в области инженерных коммуникаций, но и практически во всех областях человеческой деятельности; т.к. сетевой принцип является одним из основных организационных принципов мироздания; то курс «Теория сетей» актуален практически для всех направлений подготовки специалистов (туриндустрия, экономика, юриспруденция и др.).

Исследования, направленные на создание единой научной картины мира, и вычленяющие, несмотря на многообразие конкретных явлений и объектов, общие законы организации систем различной природы, приобретают особый интерес [15]. Поиск единых законов имеет не только теоретический, но и практический интерес, т.к. знания общесистемных принципов позволяют не только объяснить, но и спрогнозировать поведение системы, а в ряде случаев – контролировать ее для достижения необходимого результата. Междисциплинарным синтезом, направленным на постижение глубинных организационных принципов мироздания, поведения сложных систем различной природы — от галактик до атомов, от биосистем до политических систем

человеческого общества занимаются такие науки, как кибернетика, синергетика, теория систем. В этот же ряд необходимо поставить и развивающуюся теорию сетей.

Данная статья несет сигнальную функцию и является прологом к обсуждению вопроса о целесообразности введения в учебные программы инженерных специальностей курса «Общая теория цепей и сетей». Подобный курс может читаться на инженерных специальностях различного профиля подготовки специалистов в разных отраслях (строительная, энергетическая, транспортная и др.). Курс допускает широкую вариативность содержания, учитывающего специфику конкретного направления подготовки.

В перспективе автор предполагает заняться разработкой приблизительной рабочей программы курса и приглашает к сотрудничеству заинтересованные лица.

Примечания:

1. Кириллов А.М. Методы расчета электрических и магнитных цепей: учебно-методическое пособие. Сочи: Изд-во Сочинского государственного университета, 2014.
2. Файзуллин Р.Т. Расчет и оптимизация больших гидравлических сетей // Труды Международной конференции RDAMM-2001, 2001, Том 6, Ч. 2, Спец. выпуск.
3. Меренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей. М.: Наука, 1985.
4. Евин И.А. Введение в теорию сложных сетей // Компьютерные исследования и моделирование. 2010, Том 2, № 2.
5. Евин И.А., Кобляков А.А., Савриков Д.В., Шувалов Н.Д. Когнитивные сети // Компьютерные исследования и моделирование. 2011, Т. 3, № 3.
6. Евин И.А., Чернобровкин Д.А. Уязвимость и надежность метрополитена как сложной транспортной системы // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2011, № 5.
7. Кириллов А.М. Образовательно-информационная коммуникация студентов и преподавателя посредством Internet // Известия Сочинского государственного университета, № 2, 2014.
8. Берж К. Теория графов и ее применения. М.: Иностранная литература, 1962.
9. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1968.
10. Стяпшин А.А. Анализ города как сложной динамической системы // «Физико-математические науки и информационные технологии: актуальные проблемы»: материалы международной заочной научно-практической конференции. 2012.
11. Митичкин С. Системный анализ города [Электронный ресурс]. Режим доступа. URL: http://mista.ru/gorod/1_1.htm (дата обращения 06.08.2014).
12. Письменный Д. Конспект лекций по высшей математике. 1, 2 ч., М.: Айрис пресс, 2010.
13. Горбунов В.А. Использование инновационных технологий для автоматизации управления транспортом // Транспорт Российской Федерации, № 12, 2007.
14. Эльяшевич П.А. Системы городской логистики: Изд-во Петрополис, 2002.
15. Олескин А.В. Сетевые структуры в биосистемах и человеческом социуме. Научная монография и учебное пособие для лицеев, колледжей и университетов. М.: Издательство URSS, 2012.

UDC 378

The Course ‘General Theory of Circuits and Networks’

Andrey M. Kirillov

Sochi State University, Russian Federation
354000, Sochi, Sovetskaya St., 26 a
PhD in Physics and Mathematics
E-mail: kirill806@gmail.com

Abstract. The article is the prologue to the discussion, concerning the appropriateness of the introduction of the course ‘General Theory of Circuits and Networks’ in the curriculum of the engineering specialties. The concept of the course, the framework of which considers the generalized laws of circuits (electric, magnetic, hydraulic, gas, transport) and networks (computer, electrical, gas-supply, water-supply, sewage, transport, etc.) is presented.

Keywords: circuit; network; topology; logistics; graph theory; system; power supply; natural gas industry; heat supply; transport.