***Информация и космос, 2020, №2, с. 6–11.***

**Задачи создания общей инфраструктуры для сетей разного назначения**

Ермаков А.В., Соколов Н.А., Федоров А.В.

*Аннотация* –Построение сетей, независимо от их назначения, как правило, требует создания сооружений, образующих инфраструктуру. Топологии сетей в ряде отраслей схожи между собой. Данный факт актуализирует задачу создания общей инфраструктуры для совокупности сетей с целью сокращений капитальных затрат и эксплуатационных расходов. В статье изложены предварительные результаты системных исследований, которые направлены на построение общей инфраструктуры для сетей, имеющих разное назначение, но схожую топологию.

*Ключевые слова* – инфраструктура, телекоммуникационная система, сеть, топология, надежность, капитальные затраты, эксплуатационные расходы.

# Введение

Задача, рассматриваемая в этой статье, относится к междисциплинарным проблемам [1], которые обычно отличает повышенная сложность их решения. Принципы создания общей инфраструктуры, используемой сетями разного назначения, прорабатывались на протяжении нескольких десятилетий. Тем не менее, технологические особенности разных сетей и бюрократические барьеры не позволили получить желаемые результаты.

Современные достижения науки и техники позволяют найти эффективные решения по созданию общей инфраструктуры. Изменения в экономической сфере порождают надежду на преодоление организационных препятствий и межведомственных разногласий. Следовательно, возникли предпосылки для решения поставленной задачи. Например, в США 14 июня 2012 года Президентом страны был подписан указ № 15183 об ускорении создания широкополосной сети, в котором был сформулирован принцип "dig-once requirements". Это словосочетание можно перевести так: "копать землю один раз". Подразумевается единовременное создание инфраструктуры для всех возможных вариантов использования ее ресурсов.

Статья состоит из трех основных разделов. В первом разделе изложены терминологические аспекты для рассматриваемых объектов и процессов. Второй раздел посвящен изложению системных аспектов построения общей инфраструктуры. Качественные оценки экономического характера составляют предмет третьего раздела.

# Термины и определения

Отечественная терминология в ряде дисциплин (по крайней мере, в электросвязи) находится в плачевном состоянии. Не столь радужна ситуация с терминологией в зарубежной технической литературе. Это утверждение можно проиллюстрировать различным толкованием одного и того же термина в рекомендациях Международного союза электросвязи. По этой причине необходимо предложить трактовку ряда терминов, используемых в статье.

Первый термин – ***инфраструктура***. Его смысл зависит от той сути, которую формулирует автор. Кроме того, следует подчеркнуть, что в последние годы слово "инфраструктура" иногда применяется, мягко говоря, не совсем корректно. Используя словари и авторитетные публикации, уместно определить инфраструктуру следующим образом: "Комплекс взаимосвязанных обслуживающих структур, составляющих и/или обеспечивающих основу для решения задачи". Такое определение хорошо согласуется с классической трактовкой инфраструктуры, использованной в технической литературе по телекоммуникационным системам. В них инфраструктура включает здания, кабельную канализацию, сооружения, на которых размещается оборудование базовых станций сотовых сетей, и им подобные средства.

Второй термин – ***сеть***. Применительно к телекоммуникационной системе под сетью обычно понимается совокупность узлов коммутации (средств распределения информации) и трактов обмена сигналами, которая обеспечивает соединения между двумя или более точками (терминалами). Это определение не подходит для сетей, которые создаются для транспорта, передачи электроэнергии, природного газа, воды и других применений. Общей для всех видов сетей стала их математическая модель в виде графа [2].

Третий термин – ***модель***. Вполне приемлемое определение модели можно найти в Википедии. Под моделью понимается абстрактное представление реальности в какой-либо форме, предназначенное для описания определенных аспектов этой реальности и позволяющее получить ответы на изучаемые вопросы. Именно такой моделью для сетей разных видов можно считать граф.

Четвертый термин – ***граф***. Граф состоит из совокупности вершин *ai* и соединяющих их ребер *bij* [2]. Обычно вершине графа *ai* соответствует *i*-й узел (пункт) сети, а ребру *bij* – тракт (путь), непосредственно связывающий вершины *ai* и *aj*. Пример модели сети в виде графа показан на рисунке 1. Изображенный граф не имеет петель (ребер вида *bii*). Он относится к так называемым смешанным графам [2]. Они содержат ребра, по которым возможна связь от *ai* к *aj* и от *aj* к *ai*, а также ребра, обеспечивающее связь только в одном направлении (примером служит ребро *b24*, показанное пунктирной линией и снабженное стрелкой).



Рисунок 1. Модель сети в виде графа

Пятый термин – ***система***. Из множества известных определений [3] авторы статьи предпочли трактовку, которую предложили А.Д. Холл и Р.Е. Фейджин: "Множество объектов вместе с отношениями между ними и между их атрибутами".

Шестой термин – ***капитальные затраты***. В экономической литературе, включая соответствующие словари, можно найти определение примерно такого вида: "Затраты на модернизацию и реконструкцию системы, в которой, после реализации проекта, улучшаются основные показатели их функционирования (срок службы, мощность, качественные характеристики и т.п.). В современной отечественной литературе вместо термина "капитальные затраты" часто используется англоязычное сокращение CAPEX – capital expenditure.

Седьмой термин – ***эксплуатационные расходы***. В сжатой форме определение этого термина может быть представлено в такой редакции: "Расходы, необходимые для поддержания работоспособного состояния системы в течение всего намеченного срока службы". Любители "калек" с англоязычных терминов предпочитают сокращение OPEX – operating expenses.

Следует подчеркнуть, что выбор ряда формулировок был обусловлен темой статьи. Для иного предмета исследований некоторые термины уместно изменить с учетом природы рассматриваемых вопросов.

# Системные аспекты построения общей инфраструктуры

Идея построения общей инфраструктуры для нескольких сетей, различных по своей сути, не нова. Особенности практической реализации общей инфраструктуры в настоящее время заключаются в том, что существенно меняются технологии построения сетей [4, 5], а также требования экономического и – что весьма существенно – организационного характера [6]. В ряде стран упомянутое выше требование "копать землю один раз" закреплено законодательно. Соответствующую информацию, касающуюся США, Южной Кореи, Индии и других стран, несложно найти в Интернет.

Сооружения инфраструктуры могут быть расположены как выше "поверхности" муниципального образования (средства размещения базовых станций), так и ниже нее (коллекторы коммунального хозяйства). С функциональной точки зрения, независимо от места расположения, сооружения инфраструктуры играют своего рода роль фундамента для сетей разного назначения. Такой подход хорошо согласуется с переводом слова "инфраструктура" с латыни: infra – ниже, structure – конструкция.

На рисунке 2 показан пример общей инфраструктуры для двух сетей – электросвязи и электроснабжения. В нижней части иллюстрации показаны трассы коммуникаций инфраструктуры, образующих кольцевую топологию, которой присущи высокие показатели надежности [7].



Рисунок 2. Представление инфраструктуры в виде фундамента для двух сетей

Кольцевая топология трасс коммуникации позволяет создавать сети с разными структурами. Для сети электросвязи в левой верхней части рисунка 2 показана структура в виде кольца с хордой. Звездообразная структура выбрана как модель топологии для сети электроснабжения. Площадки размещения оборудования ИУ, УК и УСЭ находятся рядом. Трассы, соединяющие одноименные узлы, проходят параллельно.

Кольцевые топологии могут формироваться постепенно, если это обусловлено необходимостью снижения капитальных затрат. Пример формирования колец на одном из последующих этапов модернизации инфраструктуры показан на рисунке 3 для четырех трасс коммуникации. Эти трассы содержат транзитные пункты класса ИУ. Трассы коммуникаций на предшествующем этапе развития инфраструктуры изображены в левой части рассматриваемой иллюстрации. Справа показаны две трассы (между ИУ4 – ИУ6 и ИУ9 – ИУ11), построение которых позволяет реализовать кольцевые топологии.



Рисунок 3. Пример формирования двух кольцевых топологий

Важный системный аспект построения общей инфраструктуры – организация тех процессов технической эксплуатации оборудования, которые потенциально могут нарушить работу других сетей. Возникающие задачи требуют проведения отдельного междисциплинарного исследования.

Оценить основные преимуществ и недостатки концепции, подразумевающей построение общей инфраструктуры, в настоящее время можно за счет SWOT-анализа [8]. Это название образовано из первых букв четырех слов: Strengths (*сильные стороны*), Weaknesses (*слабые стороны*), Opportunities (*возможности*) и Threats (*угрозы*). Экономисты, используя SWOT-анализ, как правило, соотносят сильные и слабые стороны исследуемого объекта или процесса с внутренними факторами. Иногда их называют эндогенными. Возможности и угрозы рассматриваются как внешние (экзогенные) факторы.

Следует отметить, что SWOT-анализ сначала использовался не в экономике. Он применялся для упорядочения (структурирования) информации о текущей ситуации и вероятных тенденциях развития сложных систем. В этой статье используется первоначальное назначение SWOT-анализа как эффективного инструмента качественного исследования проблем, свойственных сложным системам. Полученные результаты могут быть представлены следующими примерами:

* сильные стороны (Strengths) – почти полное совпадение топологий эксплуатируемых сетей, наличие специалистов высокой квалификации;
* слабые стороны (Weaknesses) – необходимость решения сложных организационных и финансовых вопросов, отсутствие ясности с разделением ответственности при возникновении масштабных аварий и с правилами их устранения;
* возможности (Opportunities) – существенный экономический эффект, благоприятные условия для применения новых технологий;
* угрозы (Threats) – функциональная надежность комплексной системы, сложность планирования процессов модернизации инфраструктуры в случае радикальных изменений в составе какой-либо сети.

Все сформулированные положения могут быть проанализированы на качественном уровне – без использования математических методов. Более того, для исследования ряда упомянутых факторов SWOT-анализа не существует общепринятых и апробированных экономико-математических методов. Пожалуй, только характеристики надежности и живучести могут быть оценены с приемлемой точностью за счет использования соответствующего математического аппарата [9].

# Экономические оценки построения общей инфраструктуры

Сложность получения экономических оценок, в первую очередь, заключается в том, что рассматриваемые объекты, как правило, находятся на разном уровне развития и в широком диапазоне жизненного цикла инфраструктуры [10]. Их дальнейшее развитие осуществляется при различии поставленных целей и в не совпадающих условиях экономического, географического, климатического, демографического и исторического характера.

Например, специалисты, занимающиеся созданием индийской национальной сети на базе кабелей с оптическими волокнами (National Optical Fibre Network – NOFN), оценивают затраты на разработку грунта (рытье траншей) под кабельную канализацию на уровне 60-70% общих инвестиций на проект. По всей видимости, такая оценка вполне корректна для условий Индии, но она может оказаться очень завышенной для схожего проекта в российских городах, или заниженной при решении подобной задачи в условиях Крайнего Севера.

С учетом этих соображений к приведенным ниже численным оценкам следует относиться с осторожностью. Они позволяют, как говорят некоторые математики, "оценить порядок" рассматриваемых величин. Доступные оценки приводятся в разных валютах. По этой причине для сравнения результатов уместно пользоваться их нормированными значениями, которые получаются за счет того, что максимальная оценка принимается за единицу или за 100%. Например, данные по нескольким проектам, реализованным в Великобритании, позволили выявить такую закономерность:

* максимальные капитальные затраты на единицу длины кабельной канализации составляют 100%;
* минимальные капитальные затраты на единицу длины кабельной канализации не превышают 43%;
* среднее значение капитальных затрат на единицу длины кабельной канализации равно 64%.

Эти оценки свидетельствуют, что распределение капитальных затрат для рассматриваемых проектов не подчиняется закону равномерной плотности [11]. Любопытно, что заметно различаются затраты на инфраструктуру и для сравнительно короткого участка доступа в сетях электросвязи, построенных по технологии FTTH [12] – доведение оптического волокна до дома. Минимальные капитальные затраты не превышают 38% от максимума, а среднее значение равно 63%. Распределение капитальных затрат для исследуемого фрагмента инфраструктуры также не подчиняется закону равномерной плотности.

Доступные данные для четырех соседних азиатских стран, приведенные на рисунке 4, иллюстрируют различия в капитальных затратах на создание инфраструктуры, которая предназначена, в основном, для прокладки кабелей с оптическими волокнами, но будет использована и для других целей. Необходимые инвестиции, за исключением страны I, близки между собой. Существенно то, что для всех четырех стран снижение капитальных затрат, по сравнению с проектами реализации раздельных инфраструктурных сооружений, практически идентично. Оно изменяется в диапазоне от 54% до 57%.



Рисунок 4. Различия капитальных затрат на инфраструктуру

Таким образом, построение общей инфраструктуры позволяет получить ощутимый экономический эффект. Фактически он будет более существенным, если удастся выразить в экономических показателях тот ущерб, который обусловлен перекрытием транспортных путей в течение строительных работ.

# Заключение

Формирование единой инфраструктуры для сетей разного назначения обеспечит существенный экономический эффект, но порождает ряд сложных задач в части реализации соответствующих проектов и в организации процессов технической эксплуатации. Возникающие задачи могут быть успешно решены при условии согласованной технической политики владельцев сетей, готовых создавать и развивать общую инфраструктуру.

Единая инфраструктура имеет ряд дополнительных преимуществ, которые не обсуждаются в этой статье. В частности, она экономично обеспечивает практическую реализацию сценария устойчивого развития телекоммуникационной системы [13]. Некоторые преимущества, касающиеся сетей иного назначения, могут быть сформулированы только специалистами из других областей знаний, которые не относятся к телекоммуникационным системам. Возможно, что они укажут и на те риски, которые "упустили" авторы, так как не являются профессионалами в вопросах построения и эксплуатации сетей иного назначения (не относящихся к отрасли "Связь").

Дальнейшие работы уместно осуществлять как междисциплинарные исследования. Это позволит сформулировать ключевые принципы построения общей инфраструктуры, составить научно обоснованные требования к комплексу новых технических средств, а также разработать необходимую нормативную базу.

# Литература

1. Моисеев, Н.Н. Избранные труды. В 2-х томах. Том 2. Междисциплинарные исследования глобальных проблем. Публицистика и общественные проблемы / Н.Н. Моисеев. – М.: Тайдекс Ко. – 2003 – 264 с.

2. Харари, Ф. Теория графов / Ф. Харари. – М.: Эдиториал УРСС. – 2003. – 296 с.

3. Новосельцев, В.И., Теоретические основы системного анализа / В.И. Новосельцев, Б.В. Тарасов. – М.: Майор. –2013. – 536 с.

4. Комашинский, В.И. Построение сетей связи на базе инфраструктуры электросети / В. Комашинский, А. Парамонов, Д. Гуревич // Технологии и средства связи. – 2011. – № 6. – С. 30–32.

5. Комашинский, В.И Концепция 2Э: новый подход к модернизации системы сельской связи / В.И. Комашинский, Н.А. Соколов // Connect. Мир связи. – 2011. – № 9. – С. 78–81.

6. Пыхов, П.А. Инфраструктура как объект экономических исследований / П.А. Пыхов, Т.О. Кашина // Журнал экономической теории. – 2016. – №1. – С. 39–46.

7. Соколов, Н.А. Задачи планирования сетей электросвязи / Н.А. Соколов. – СПб.: Техника связи. – 2012. – 432 с.

8. Дженстер, П. Анализ сильных и слабых сторон компании. Определение стратегических возможностей / П. Дженстер, Д. Хасси. – М.: Вильямс. – 2003. – 368 с.

9. Попков, В.К. Математические модели связности / В.К. Попков. – Новосибирск, издательство ИВМиМГ СО РАН. – 2006. – 490 с.

10. Звягинцев, М.В. Выбор структуры сети связи с учетом жизненного цикла ее элементов / М.В. Звягинцев, Д.С. Маслов, Н.А. Соколов // Электросвязь. – 2010. – №8. – С. 33–36.

11. Вадзинский, Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям / Р.Н. Вадзинский. – СПб.: Наука. – 2001. – 296 с.

12. Соколов, Н.А. Эволюция сетей доступа. Три аспекта / Н.А. Соколов // Первая миля. – 2015. – №2. – С. 56–61.

13. Ермаков, А.В. Проблемы модернизации сетей электросвязи / А.В. Ермаков, Н.А. Соколов, А.В. Федоров // ТРУДЫ ЦНИИС, Санкт-Петербургский филиал. – 2018. – Том 1(5). –$1^{(4)}$ С. 25–32.

**The problems of common infrastructure**

**creation for networks with various purposes**

Ermakov A.V., Sokolov N.A., Fedorov V.A.

***Abstract* – The construction of networks regardless of their purpose, as a rule, requires the creation of technical means that form the infrastructure. Network topologies in a number of sectors are similar to each other. This fact actualizes the problem of creating a common infrastructure for a set of networks in order to reduce capital expenditure and operating expenses. The article presents the preliminary results of system research that are aimed at constructing a common infrastructure for networks with different purposes but with a similar topology.**

***Keywords* – infrastructure, telecommunication system, network, topology, dependability, capital expenditure, operating expenses.**

Cведения об авторах:

Ермаков Алексей Валентович (Ermakov Aleksey)

Кандидат экономических наук, доцент

Якутск, Северо-Восточный федеральный университет им. М К. Аммосова,

Зав. кафедрой МТС ИМИ СВФУ

Ermakov-it@yandex.ru

+7 (921) 933 54 00

Соколов Николай Александрович (Sokolov Nikolai)

Доктор технических наук, старший научный сотрудник

Санкт-Петербург, ООО "Протей СпецТехника", директор по науке

sokolov@protei.ru

+7 (921) 994 29 11

Федоров Александр Владимирович (Fedorov Aleksandr)

Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Филиал ФГУП ЦНИИС – ЛО ЦНИИС, начальник научно-технического центра

fav@loniis.ru

+7 (921) 746 88 10