

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Емельянов А.К.

ФГБОУ ВПО МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, e-mail: msk-expert@mail.ru

Работа посвящена задаче оценки коммерческой эффективности проектов модернизации и развертывания сетей сотовой связи. Описан алгоритм вычисления показателей коммерческой эффективности проекта и показателей типа "вход-выход". В основе алгоритма лежит методика инвестиционного анализа, основанная на построении оценок денежных притоков (дохода) и оттоков (затрат). Наибольшее внимание уделяется вопросу оценки затрат в подсистеме базовых станций. Эти затраты определяются в два этапа. Сначала, исходя из технических параметров оборудования, проводится оценка числа базовых станций и количественного состава оборудования. На втором этапе определяются сами затраты. Особое внимание уделяется оценке энергозатрат. Энергопотребление базовых станций зависит от множества факторов, в рамках предложенного алгоритма предлагается учитывать наиболее значимые: климат и нагрузку. Такой подход позволяет учитывать как и структурные изменения сети (первый этап), так и влияние отдельных инновационных технологий (второй этап). Предлагаемый алгоритм, позиционируется как средство, позволяющее облегчить принятие решений по выбору наиболее перспективного проекта среди нескольких альтернативных. Он позволяет получить количественные оценки результатов реализации проекта и проследить их зависимость от различных факторов (цены, климат, активность абонентов и т.п.).

Ключевые слова: инвестиционный анализ, энергетическая эффективность, сотовые сети.

EFFECTIVENESS ESTIMATION OF CELLULAR NETWORK MODERNIZATION AND DEPLOYMENT PROJECTS

Emelyanov A.K.

Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation, e-mail: msk-expert@mail.ru

The article is devoted to the problem of commercial effectiveness estimation for cellular network modernization and deployment projects. It describes the algorithm for calculating commercial effectiveness indicators and "input-output" indicators of the project. The algorithm is based on methods of investment analysis, so estimations of cash inflows (income) and outflows (costs) are needed. Most attention is paid to expenditure evaluation. Expenditures are calculated in two steps. At first, number of base stations is estimated from technical parameters of the equipment. This allows to calculate the quantitative composition of the equipment. Then expenditures are estimated. Particular attention is paid to the assessment of energy consumption. Energy consumption of base stations depends on many factors. The algorithm allows to estimate the influence of two the most important factors (climate and the load). So in the first stage structure changes of the network are taken in account and the influence of modern energy-saving technologies are estimated in the second. Proposed algorithm allows to get a quantitative evaluation of the results of the project and to trace their dependences on various factors, so it simplifies the most promising project selection. **Keywords: investment analysis, energy effectiveness, cellular networks.**

Keywords: investment analysis, energy effectiveness, cellular networks.

В современном мире сотовая связь представляет собой важнейшую отрасль сектора телекоммуникаций. В первом десятилетии XXI в. в России она переживала так называемый период "взрывного роста" [8]. Развитие происходило в основном за счет освоения новых территорий и увеличения числа абонентов. Однако на настоящий момент возможности такого роста исчерпаны. Экстенсивное развитие возможно только за счет территорий с малой плотностью абонентов, что налагает большие требования на эффективность инфраструктуры

(в смысле отношения площади покрытия к необходимым затратам).

Дальнейшее развитие сетей сотовой связи происходит за счет расширения пакета услуг и совершенствования технологий. Хорошим отражением этой тенденции является постепенное увеличение доли передаваемых данных по отношению к голосовому трафику, внедрение технологий мобильной связи третьего и четвертого поколений, прежде всего ориентированных на предоставление скоростного доступа к сети интернет. Расширение пакета услуг увеличивает нагрузку на существующую инфраструктуру. При этом конкуренция с другими операторами вынуждает держать цены на минимальном уровне. Ситуацию усугубляет непрерывный рост стоимости электроэнергии, на долю которой приходится примерно половина эксплуатационных затрат [3].

В этих условиях перед операторами встает задача повышения эффективности существующей инфраструктуры сетей сотовой связи. В данном случае под эффективностью следует понимать способность обеспечить надлежащее качество связи на заданной территории при минимальных затратах. Наибольший интерес представляет оптимизация работы подсистемы базовых станций, т.к. на нее приходится основная доля всех капитальных и операционных затрат оператора [3].

Существует широкий спектр технологий, позволяющих потенциально сократить эксплуатационные издержки подсистемы базовых станций [5], однако не всегда очевиден реальный результат их внедрения. Поэтому перед операторами сетей сотовой связи возникают задачи сравнения различных альтернативных (взаимоисключающих) проектов. Это могут быть как и проекты развертывания сети на новых территориях, так и проекты модернизации существующих сетей. Сложность сравнения таких проектов обусловлено несколькими факторами:

1. Сложность оптимизируемого объекта. Подсистема базовых станций представляет собой систему, состоящую из множества компонент, на функционирование которых влияют различные факторы. Например, расстояние между сотовыми станциями, а, следовательно, и их число зависит от высоты вышки, мощности передатчика, типа местности [7]. Энергопотребление системы охлаждения зависит от температуры воздуха [2,1] и т.п.
2. Проблемы формализации понятия “эффективность”. Коммерческая эффективность предполагает выбор проекта дающего максимальную прибыль, что для подсистемы базовых станций соответствует означает сокращении затрат при сохранении уровня качества связи. Однако разные проекты имеют разную скорость осуществления, разную структуру (капитальных/операционных) затрат и т.д.
3. Для математических методов типовым способом преодоления этой проблемы является введение показателей эффективности. Однако для принятия адекватного решения анализ

должен опираться на несколько различных показателей, допускающих понятную экономическую или физическую интерпретацию.

4. Необходимость учета неопределенностей. На эффективность проекта влияет множество факторов, которые невозможно учесть полностью.

Целью данной работы является выработка методики оценки сравнительной эффективности альтернативных проектов развития подсистемы базовых станций. За основу взят стандартный метод инвестиционного анализа [6], основанный на оценки значений денежных потоков, возникающих при реализации проекта. В его расчетную схему добавлены элементы, учитывающие специфику предметной области, что позволяет на основе формального описания проектов получить ряд показателей эффективности и исследовать их взаимосвязь с исходными параметрами проектов. Такая система должна упростить работу экспертов, осуществляющих сравнительную оценку альтернативных проектов.

Показатели эффективности

Как было сказано ранее, подсистема базовых станций представляет собой сложный объект, попытка оценки которого при помощи одномерного (скалярного) показателя эффективности неизбежно приведет к потере части информации о его функционировании. Чтобы обеспечить всестороннюю оценку эффективности, предлагается использовать ряд различных показателей.

Показатели коммерческой эффективности. В эту группу попадают различные показатели эффективности, применяемые при инвестиционном анализе проектов [6, разд. 2.8]: **чистый дисконтированный доход, внутренняя норма доходности, потребность в дополнительном финансировании, срок окупаемости** и т.п. Помимо стандартных показателей предлагается использовать также следующие величины:

- **капитальные затраты** на развертывание (модернизацию) системы сотовой связи,
- **операционные затраты**, включая затраты на энергоснабжение,
- **операционные затраты на энергоснабжение.** Этот показатель включает в себя только энергию, получаемую от внешних источников (электрической сети, топливо для генераторов). Энергия, полученная от возобновляемых источников (ветрогенератор, солнечные панели и т.п.), не учитывается.

Особое внимание затратам и их структуре уделено, т.к. в предположении, что альтернативные проекты обеспечивают одинаковый объем и качество услуг, денежных притоки для всех проектов идентичны, т.е. различия обусловлены только структурой и величиной затрат.

Инженерные показатели эффективности. В эту группу попадают показатели, отражающие эффективность участка сети, полученного в результате реализации проекта, как инженерного

объекта: т.е. отношение полученного выхода (площади покрытия, емкости сети) к затраченным ресурсам в разной форме (число БС, число вышек, ватт потребленной энергии и т.п.). Т.к. все проекты обеспечивают заданный уровень качества связи, выходные показатели следует считать одинаковыми, В качестве входных (затрачиваемых) ресурсов предлагается рассматривать:

- **Число сайтов различных типов.** В рамках различных проектов могут использоваться вышки различной высоты и передатчики разной мощности, что приводит к разному числу базовых станций. В отдельных случаях структура сети может быть неоднородной (например, часть БС заменяются ретрансляторами [4]), тогда имеет смысл учитывать разные типы сайтов отдельно.
- **Длина проводных линий связи и линий электропередач.** Эти показатели трудно оценить, т.к. они сильно зависят от имеющейся на местности инфраструктуры. Исключение составляют различные тривиальные случаи (например, обеспечение связи вдоль электрифицированной железной дороги: электроэнергия есть, проводных линий связи нет).
- **Энергопотребление** по различным типам энергоносителей. Суммарное энергопотребление без учета энергии получаемой от возобновляемых источников энергии. Энергоносителями могут выступать электричество, дизельное топливо, водород (в случае использования в качестве резервного источника питания топливных элементов).
- **Трудозатраты на обслуживание** (в человекочасах). Любое оборудование требует регламентного обслуживания, его объем приблизительно известен из его документации. Имеет смысл разделять различные типы работ: верхолазные работы на вышках, обслуживание оборудования в контейнерах.

Сравнение альтернативных проектов на основе показателей эффективности. Т.к. каждый проект описывается набором показателей, сравнение альтернативных проектов становится нетривиальной задачей, за исключением случая, когда один проект превосходит остальные по всем параметрам. В противном случае для исключения заведомо неэффективных проектов может быть использовано понятие Паретто оптимальности. Могут быть введены различные относительные показатели эффективности (в виде отношений или разностей показателей различных проектов).

Для коммерческих компаний наибольшее значение будут играть показатели коммерческой эффективности, в т.ч. оценки чистого дохода и объемов различных типов затрат. Это вполне естественно, т.к. их основной целью является получение прибыли. Однако помимо подобного математического анализа большое значение имеет экспертная оценка проектов, которая позволяет учесть их неформализуемые особенности. При этом наличие количественных оценок различных показателей проектов и возможность отслеживать их зависимость от

различных факторов экономической среды (например, цен на энергоносители) и параметров самих проектов должно значительно улучшить представления экспертов о проектах, вскрыть их слабые и сильные стороны. Не малую роль при таком анализе играет возможность четкой экономической или физической интерпретации показателей эффективности.

В следующий раздел статьи посвящен разработке алгоритма вычисления оценок введенных выше показателей эффективности. Входом алгоритма является формальное описание проектов в виде таблиц, содержащих характеристики оборудования, его примерную стоимость, затраты на установку и обслуживание. Помимо этого требуется описание (модели) территории, экономической среды, специфики размещения базовых станций. На выходе получается набор показателей эффективности. Отслеживать их зависимость от различных параметров системы можно посредством повторения расчетов для разных значений параметров.

Алгоритм расчета показателей эффективности

Для расчета показателей эффективности предлагается использовать стандартную методику инвестиционного анализа [6]. Данная методика основана на анализе денежных оттоков (т.е. затрат) и притоков (дохода от реализации проекта). Период реализации проекта разбивается на несколько этапов, для каждого этапа может быть задан свой набор параметров, что позволяет учитывать различные медленные тренды (изменение цен, рост абонентской базы и т.д.) Для точной оценки затрат требуется знать состав оборудования, размещаемого на рассматриваемой территории и структуру затрат на его развертывание и эксплуатацию.

Оценку эффективности предлагается проводиться по схеме, приведенной на рис. 1.

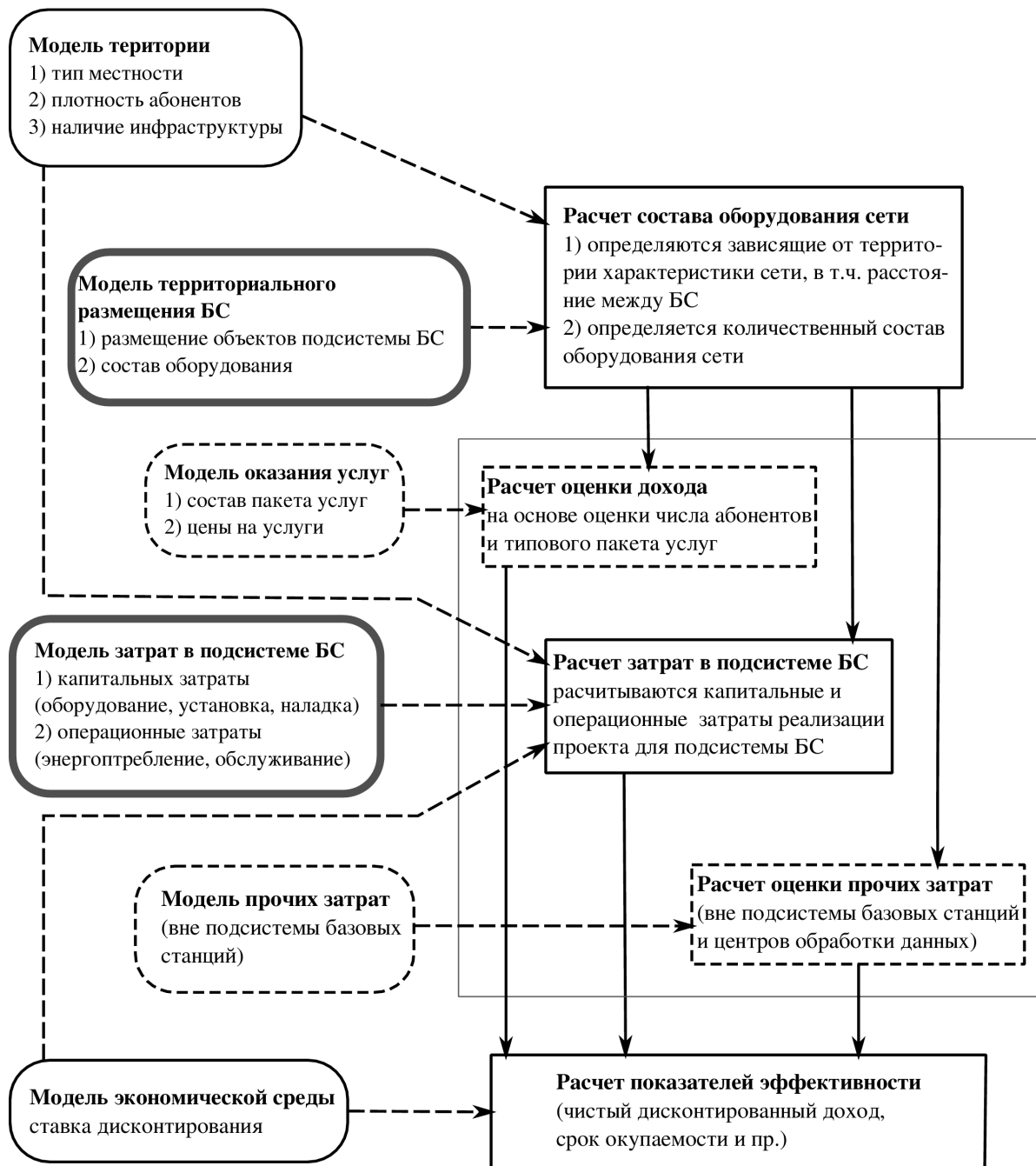


Рис. 1: Алгоритм расчета показателей эффективности для проектов сетей сотовой связи. Блоки со скругленными углами обозначают модели, на которых основан расчет, прямоугольные блоки — вычисления. Широкая рамка указывает, что соответствующая модель содержит специфичную для каждого из альтернативных проектов информацию, остальные модели общие для всех проектов. Сплошные стрелки отражают последовательность операций, пунктирные — на каких моделях основана данная расчетная операция. Блоки с пунктирной рамкой убираются из схемы при упрощении, однако тогда расчет части показателей эффективности становится невозможен.

В схеме действиям соответствуют прямоугольные блоки, действия подразумевают выполнение расчетов по некоторым формулам. Блокам со скругленными углами соответствуют модели, они преимущественно содержат данные, на основе которых проводятся расчеты. Модель представляется в виде таблицы, в одном столбце которой названия

параметра, а в другом либо его значение (число для скалярных величин, график или таблица для представления зависимостей), либо ссылка на способ его расчета (формула). Способ расчета указывается, когда он специфичен для проекта и поэтому не может быть частью основной расчетной схемы. Например, параметром модели может быть цена, энергопотребление оборудования, или число единиц оборудования в составе одной БС и т.д. Сплошные стрелки отражают зависимость по порядку выполнения действий, пунктирные — связь моделей и расчетных блоков.

Предполагается, что наложены следующие ограничения. Участок, для которого проводятся расчеты, удовлетворяет требованию **пространственной однородности**. Т.е. климат, характер застройки, рельеф, плотность абонентов, их поведение и т.п. в пределах рассматриваемой территории существенно не меняется. Это предположение позволяет оценить состав оборудования подсистемы базовых станций, не осуществляя реальное проектирование сети. Второе предположение заключается в том, что все **проекты обеспечивают равное качество и объем услуг**.

Прокомментируем основные блоки предлагаемой схемы. Подробности будут опущены, т.к. привести полный набор расчетных формул не позволяет формат работы.

Модель территории представляет собой описание территории, на которой размещается система сотовой связи. Модель территории включает следующие характеристики:

1. Площадь территории или **длина линейного объекта**, вдоль которого требуется обеспечить связь. Последняя характеристика используется, если, например, требуется обеспечить связь вдоль железной дороги или автодороги.

2. Максимальная плотность активных абонентов и **тип местности** (город, сельская местность, открытая местность). Эти характеристики используются при расчете параметров пространственного размещения БС.

3. Плотность активных абонентов. Используется для оценки дохода и нагрузки на сеть, может быть представлена либо скалярной величиной, либо в виде зависимости (представляется графиком или таблицей) изменения плотности абонентов от времени суток. Для учета медленных изменений этот параметр задание для каждого этапа реализации проекта.

4. Климатические условия. Температура воздуха используется для расчета эффективности системы охлаждения. Для каждого месяца указывается зависимость (в виде графика или таблицы) средней температуры воздуха от времени суток. Такое описание может быть упрощено (взяты средние температуры для каждого месяца или среднегодовая температура) в ущерб точности оценки энергопотребления системы охлаждения.

Для оценки эффективности различных возобновляемых источников энергии также требуется

информация о климате.

Инженерная модель подсистемы БС отражает, как базовые станции и сопутствующее им оборудование размещается на местности. Модель зависит от проекта, на основе которого развертывается сеть и разбивается на две части. В первую часть попадают такие параметры, как **диапазон частот, высота вышек, мощность сигнала передатчиков** (для БС и радиорелейного оборудования) и **чувствительность приемников**. Они используются для расчета инженерных характеристик подсистемы БС: числа базовых станций, числа секторальных антенн, количества радиоканалов на сектор.

Вторая часть представляет собой таблицу с формулами, по которым из инженерных характеристик подсистемы БС определяется **количественный состав оборудования**. Например, для типового проекта размещения N базовых станций с M секторальных антенн каждая потребуется: N контейнеров, N модулей радиорелейной связи с антеннами (для связи с контроллером БС), N кондиционеров, MN блоков БС и NM секторальных антенн. Сложнее выглядят формулы для расчета числа модулей система электропитания, т.к. их число определяется значением максимального суммарного энергопотребления оборудования БС, которое, в свою очередь, рассчитывается из количественного состава оборудования и его заявленного **максимального энергопотребления**.

Расчет инженерных параметров и состава оборудования подсистемы БС осуществляется в два этапа. На первом этапе вычисляются инженерные характеристики подсистемы БС: **число БС, расстояние между БС, число секторальных антенн, количества радиоканалов на сектор**. Для оценки этих параметров используются стандартные методики [7], основанные на анализе отношений сигнал/шум (модель COST-231) и пропускной способности каналов (модель Эрланга). Входными данными выступают тип местности (по характеру застройки: город, пригород, сельская местность и т.п.), диапазон частот, мощность и чувствительность приемопередатчиков, высота вышек. Все эти характеристика задаются моделью территории и инженерной моделью подсистемы БС.

В качестве упрощения расчеты можно не проводить, а использовать типовые параметры размещения базовых станций в подобной местности, если они адекватно соответствуют рассматриваемому проекту. В случае, если рассматривается модернизация существующей сети, они также известны заранее.

На втором этапе определяется состав оборудования. Для этого проводятся расчеты по формулам, заданным в рамках инженерной модели БС.

Следует отметить, что эти вычисления дают корректные оценки только, если выполнено предположение пространственной однородности сети.

Модель оказания услуг, расчет дохода и нагрузки. В предположении, что все

альтернативные проекты обеспечивают одинаковое качество связи, денежные притоки по всем проектам будут совпадать. Модель оказания услуг представляет собой **средний удельный объем трафика и средний удельный доход**, т.е. средний объем трафика (в эрлангах) и средний доход, приходящийся на одного активного абонента за единицу времени. Значения этих величин можно оценить на основе данных, собираемых биллинговой системой. Значения этих величин и зависимость плотности активных абонентов от времени суток используются для вычисления зависимости нагрузки на БС от времени суток (она необходима для оценки эффективности динамических систем энергосбережения) и оценки суммарного дохода, приносимого участком сети.

Данная модель учитывает только суточные колебания числа абонентов. Путем задания различной плотности активных абонентов, состава и стоимости пакета услуг для разных этапов проекта можно учесть медленные временные тренды.

Модель затрат в подсистеме базовых станций используется для построения оценки затрат (денежных оттоков), связанных с подсистемой базовых станций. Выделяются две основные группы затрат:

- Капитальные (инвестиционные) затраты: стоимость оборудования (вышка, контейнер, антенны, электронное оборудование, линии связи, ретрансляторы, кондиционеры, ИБП и т.д.), затраты на монтаж и наладку оборудования, обучение обслуживающего персонала, вывод оборудования из эксплуатации.
- Операционные затраты: обслуживание и ремонт, лицензии ПО, энергопотребление. Оценка объема регламентных работ определяется на основе документации оборудования и описания проекта. Размер лицензионных платежей также известен. Наибольшую сложность здесь представляет расчет энергопотребления, этот вопрос будет рассмотрен ниже.

Наибольшую сложность представляет оценка реального энергопотребления оборудования. Выше уже было сказано, что расходы на электроэнергию составляют примерно половину операционных затрат, что вызывает существенный интерес к энергосберегающим инновациям [5], как способу повышения эффективности.

Побочным явлением внедрения энергосберегающих технологий является появление существенной зависимости энергопотребления БС от внешних факторов (подробнее см. [5]):

1. Динамические системы энергосбережения позволяют отключать неиспользуемые блоки базовых станций, либо сами базовые станции. В данном случае энергопотребление зависит от нагрузки (трафика). Перспективы и модели расчета энергопотребления таких систем рассматриваются, например, в [10,9].
2. Системы охлаждения воздухом. Энергопотребление такой системы существенно зависит от температуры воздуха снаружи контейнера [1].

3. Возобновляемые источники энергии. Выдаваемая мощность зависит солнечных батарей существенно меняется в течение года (суточные колебания можно сгладить аккумуляторами), то же относится и к ветрогенераторам. Для оценки эффективности их работы требуется внести освещенность и среднюю силу ветра в территориальную модель. Следует заметить, что существуют алгоритмы и специальное программное обеспечение, предназначенное для оценки эффективности работы таких систем энергоснабжения (см. библиографию к [5]).

В рамках модели затрат, предлагается рассчитывать суммарное потребление энергии на основе зависимости энергопотребления отдельных типов оборудования от значений влияющего на энергопотребления фактора (или факторов) (Для возобновляемых источников энергии энергопотребление будет отрицательным). В качестве основных факторов рассматриваются суточные колебания числа активных абонентов, суточные и сезонные колебания температуры воздуха. Эти зависимости может быть предварительно рассчитана на основе некоторой модели энергопотребления, либо получена экспериментальным путем.

Например, такие графики зависимости энергопотребления системы охлаждения наружным воздухом от температуры приводятся в работе [1]. Пусть эта зависимость описывается функцией $p(t)$, тогда годовое энергопотребление системы охлаждения дается формулой

$$P_{cooling} = \sum_{i=1}^{12} \int_0^{24} p(t_i(\tau)) dt$$

где $t_i(\tau)$ — усредненная зависимость температуры от времени суток для месяца i , суммирование ведется по месяцам, интегрирование — по времени суток.

Модель экономической среды описывает экономическую ситуацию в течение периода реализации проекта. Она включает **ставку дисконтирования, цены на энергоносители**, а также цены на оборудование и услуги не специфичные для распариваемых проектов, затраты на привлечение обслуживающего персонала. Значения этих параметров могут различаться для различных этапов реализации проекта.

Модель прочих затрат и их оценка используется для оценки затрат, напрямую не связанных с подсистемами базовых станций. В первую очередь это **затраты на центры коммутации мобильной связи, офисы и вспомогательные службы**. Так же как и в случае подсистемы базовых станций здесь можно выделить группы операционных и капитальных затрат. Предполагается, что эти затраты пропорциональны емкости подключаемого участка сети, а коэффициенты пропорциональности и представляют собой модель затрат.

Расчет показателей эффективности. На этом этапе производится вычисление показателей эффективности проекта. Схема вычисления показателей коммерческой эффективности стандартна [6, гл. 5]. На предыдущих этапах расчета вычислены основные характеристики развертываемой сети, оценки денежных притоков (дохода) и оттоков (затрат) для каждого

этапа реализации проекта. По этим оценкам вычисляются показатели коммерческой эффективности: чистый дисконтированный доход, внутренняя норма доходности, срок окупаемости и пр. Для осуществления вычислений требуется информация об экономической среде (в первую очередь — значение ставки дисконтирования).

Инженерные показатели эффективности вычисляются в соответствие с их определением, как отношения величин характеризующих выход проекта к затраченным ресурсам (входу).

Упрощение расчетной схемы и общая методика сравнения проектов

Сравнение альтернативных проектов должно происходить в предположении совпадения внешних условий. Т.е. параметры экономической среды, плотность активных абонентов, порождаемая ими нагрузка, климатические условия и т.п. величины совпадают для всех рассматриваемых проектов. А это, в свою очередь, означает модель территории, модель оказания услуг, модель экономической среды и модель прочих затрат должна быть общей для всех проектов.. Поэтому расчет дохода и нагрузки на подсистему БС, а также расчет оценки прочих затрат достаточно провести один раз.

В целях упрощения вычислений можно отказаться от расчета оценки дохода и оценки прочих затрат, тогда осуществление полного инвестиционного анализа становится невозможным, однако схема по-прежнему позволяет оценить затраты в подсистеме БС для каждого из проектов. При этом можно вычислить все показатели инженерной эффективности и часть показателей коммерческой эффективности .

Предложенная расчетная схема как и любая модель нуждается в верификации. В общем случае ее точность во многом зависит от полноты и точности формального описания проектов. При этом описании неизбежны упрощения, исключение маловажных факторов. Рекомендуется проверить точность получаемых формальных описаний проекта, проведя анализ для уже реализованного проекта.

На основе вышесказанного предлагается следующая процедура сравнения альтернативных проектов.

1. Формируется набор альтернативных проектов. Среди них выбирается базовый. Он должен максимально соответствовать или полностью совпадать с каким-нибудь из уже реализованных проектов, по которым доступна статистика денежных притоков и оттоков.
2. Проекты формализуются. Модель территории, модель оказания услуг, модель прочих затрат и модель экономической среды являются общими для всех проектов. Если доступна статистика по реализации базового проекта, то модель оказания услуг и модель прочих затрат следует строить на ее основе.
3. Адекватность расчетной схемы проверяется при помощи базового проекта. Значения рассчитанных денежных потоков сравниваются с реальными. Модель экономической среды

может быть замещена, чтобы соответствовать периоду времени, когда была собрана статистика денежных потоков для базового проекта. Этот этап позволяет убедиться в адекватности

4. Результаты расчетов показателей эффективности используются экспертами для принятия решения о выборе проекта.

Список литературы

1. Бураков Е., Вишневский Е. П. Поддержание микроклимата на базовых станциях сотовой связи. Какая система эффективнее? // ИКС. — 2011. — № 09. — С. 70. — URL: <http://www.iksmedia.ru/search/3928655.html>.
2. Вишневский Е. П., Салин М. Естественное охлаждение на базовых станциях // ИКС. — 2011. — № 04. — С. 85. — URL: <http://www.iksmedia.ru/issue/2011/4/3720471.html>.
3. Годовой отчет ОАО “МТС”. — 2012.
4. Громаков Ю. А., Шевцов В. А. Способ сотовой связи // Телекоммуникационные технологии. — 2007. — № 5. — С. 20–25.
5. Емельянов А. К. Пути повышения энергоэффективности подсистемы базовых станций сетей сотовой связи // Интернет-журнал “Науковедение”. — 2013. — Т. 17, № 4. — URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/30evn413.pdf>.
6. Косов В. В., Лившиц В., Шахназаров А. Г. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. — Москва : Экономика, 2000.
7. Сорокин А. С. Сотовые системы радиосвязи. Курсовое и дипломное проектирование. Учебное пособие. — Москва : МТУСИ, 2006.
8. Шепелев Д. “Билайн” — “Двадцатилетие мобильной связи в России” // iXBT.com. — 2011. — URL: http://www.mobsvjaz.ru/publ/20_let_vlijanija_mobilnoj_svjazi_vzgljad_na_rossiju/1-1-0-112 (дата обращения: 10.09.2013).
9. Dimming cellular networks / D. Tripper, A. Rezgui, P. Krishnamurthy, P. Pacharintankul // Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Pittsburgh, PA, USA, 6–10 December 2010. — 2010. — P. 1–6.
10. Lorincz J., Garma T., Petrovic G. Measurements and modelling of base station power consumption under real traffic loads // Sensors. — 2012. — no. 12. — P. 4281–4310.

Рецензенты:

Ивашенко Н. П., д.э.н., профессор, заместитель декана по инновационному развитию

экономического факультета МГУ им. Ломоносова, заведующая кафедрой "Экономики инноваций" МГУ им.Ломоносова ,г.Москва.

Кочикян В. П., д.э.н., профессор кафедры "Экономики инноваций" МГУ им.Ломоносова г.Москва.