

# Экономическая эффективность модернизации ведомственных сетей мобильной связи

*В статье экономическая задача эффективного проведения модернизации ведомственных сетей мобильной связи сводится к математической модели оптимального управления случайным процессом. За основу принята вероятностная модель, в которой неопределенность в прогнозировании состояния экономической системы определяется реализацией случайного процесса.*

Володина Е.Е., Зорин И.П.,  
МТУСИ

## Характеристика транкинговых систем связи

Развитие мобильной связи тесно связано со всеми отраслями инфраструктуры страны, в частности с развитием транспорта, которое имеет важное социально-экономическое значение. По мере увеличения объема перевозок возрастают требования к скорости, надежности и безопасности перевозок. Эффективное решение перечисленных задач обеспечивается внедрением автоматизированных систем диспетчеризации транспортных средств, базирующихся на транкинговых системах связи.

Существуют аналоговые (например, на базе стандарта MPT1327) и цифровые (например, стандарт TETRA) системы транкинговой радиосвязи. В настоящее время процесс развертывания сетей радиосвязи во всем мире характеризуется широким внедрением цифровых систем.

Главными особенностями работы сетей цифровой подвижной радиосвязи стандарта TETRA являются быстрое установление соединений, высокое качество передачи информации, широкий перечень функциональных возможностей, а также установление связи между пользователями в пределах дальности действия абонентских радиостанций, минуя базовые станции.

В настоящее время транкинговые сети связи стандарта TETRA развернуты более чем в 70-ти странах мира. В европейских странах сети связи стандарта TETRA функционируют для поддержки деятельности экстренных оперативных служб, в том числе полиции, пожарной службы, спасателей, медицинских служб и других служб. Более половины всех заключенных контрактов на предоставление услуг транкинговых систем радиосвязи приходится на службы общественной безопасности и транспортные предприятия.

Таким образом, потенциальными пользователями услуг транкинговой связи могут выступать организационные структуры различной ведомственной принадлежности, в том числе органов регионального и местного управления, муниципальные службы, службы транспорта и здравоохранения, службы топливно-энергетического комплекса и другие службы.

Сети транкинговой связи рассматриваются сегодня как в качестве телекоммуникационной среды для функционирования систем административного управления в различных областях профессиональной деятельности, так и в качестве неотъемлемой части различных производственно-технологических процессов. Поэтому основной особенностью проектирования современных сетей транкинговой связи является максимальная адаптация сетевой структуры и инфраструктуры к административной и производственно-технологической структуре пользователей, схемам и маршрутам информационных потоков, параметрам абонентской нагрузки.

## Постановка решаемой задачи

Данная статья посвящена проблемам эффективности модернизации транкинговых сетей связи ведомственного предприятия, использующего в производственных целях собственную транспортную инфраструктуру на всей территории РФ. Под эффективной модернизацией понимается такая модернизация, при которой доходность новой технологии становится выше, чем доходность старой.

Цель модернизации состоит в объединении существующих аналоговых транкинговых сетей и переводе этих сетей с аналогового стандарта на цифровую систему стандарта TETRA. Данный стандарт увеличит производительность транспортной сети, повысит ее эффективность и обеспечит бесперебойность и безопасность транспортных услуг. Кроме того, это обеспечит не только телекоммуникационную среду для производственно-технических процессов, но и позволит предоставлять на коммерческой основе услуги связи сторонним корпоративным пользователям.

Следует отметить, что даже при использовании существующих на предприятии аналоговых систем подвижной радиосвязи, возможен вариант двойного применения таких систем. Однако производственные мощности (емкость) эксплуатируемых аналоговых сетей связи рассчитаны в основном на решение специальных задач.

Затраты на построение опорной сети базовых станций цифровых сотовых систем достаточно велики и достижение окупаемости инвестиций в разумные сроки (исходя из жизненного цикла технологий, равного 3-5 годам) при небольшом числе сторонних коммерческих пользователей достаточно проблематично.

Двойное использование сетей связи стандарта TETRA за счет расширения ее функциональных возможностей и, следовательно, расширения ее коммерческой составляющей позволит решить проблему самоокупаемости системы. Встает вопрос, как инвестировать процесс модернизации, чтобы к заданному горизонту планирования выйти на расчетные показатели окупаемости вложенных в проект средств.

Традиционный подход при решении таких задач предполагает расчет "пессимистичного" и "оптимистичного" вариантов инвестиционного проекта внедрения новой технологии и "отслеживание" этих вариантов (траекторий развития) по мере реализации проекта. На практике вся финансовая деятельность операторской компании определяется ее доходом, основным источником которого является плата абонентов компании за обслуженный трафик (нагрузку). Взаимосвязь параметров финансово-экономической модели представлена на рис. 1.

При этом объем передаваемого трафика определяется как техническими факторами (увеличение пропускной способности системы, оптимизация алгоритмов управления каналным ресурсом), так и действиями финансового менеджмента компании (проведение маркетинговых и рекламных компаний, разработка тарифных планов, минимизации затрат).

Таким образом, в конечном итоге операторская компания стремится техническими и организационно-экономическими методами

увеличить объем передаваемого трафика соответственно доход компании.

При этом и необходимость внедрения новой технологии, в конечном итоге, продиктована аналогичными соображениями: учитывая время жизни технологии надо вовремя провести техническое перевооружение, чтобы доход компании, в связи с открывающимися новыми возможностями, увеличился или хотя бы с течением времени не уменьшался.

Необходимо отметить один важный момент, который определяет новую постановку решаемой задачи. Объем обслуженного трафика является случайной величиной и, следовательно, доход компании — тоже случайная величина. При такой постановке традиционные подходы рассматривают лишь "наилучшую" и "наихудшую" временную реализацию случайного процесса получения дохода.

В этом случае предлагаемым подходом к решению задачи является следующий: определяя динамику развития экономической системы модернизации, в виде случайного процесса, требуется на заданном горизонте планирования модернизации определить оптимальную стратегию вложения средств, чтобы достичь требуемого результата (провести эффективную модернизацию).

Определяя динамику развития экономической системы модернизации, в виде случайного процесса, требуется на заданном горизонте планирования модернизации определить оптимальную стратегию вложения средств, чтобы достичь требуемого результата (провести эффективную модернизацию).

Эту задачу, исходя из её постановки, предлагается решать методом динамического программирования, который позволяет определить с экономической точки зрения оптимальные (наилучшие) решения по модернизации оборудования на каждом временном интервале, в данном случае на каждом этапе инвестиционного проекта.

В основе решения задач динамического программирования лежит принцип оптимальности: на каждом этапе принимается такое решение, которое обеспечивает оптимальность с данного этапа до конца процесса, т.е. на каждом этапе необходимо принимать решение, просматривая его последствия до самого конца.

Математическая постановка задачи сводится к следующему:

Текущее состояние экономической системы характеризуется двумя величинами: валовым продуктом (ВП) — доходом и объемом фонда реализации проекта (ФРП) — объемом накопленных инвестиций. Доход в данном случае является численной характеристикой процесса производства и предоставления на рынке услуг транкинговой связи. Фонд реализации проекта — объем инвестиций, направляемых в основной капитал с целью модернизации технологического процесса.

Динамика системы задается следующими выражениями:

Если  $z(t) < z_n$ , то

$$x(t+1) = \alpha_0(x(t) - c(t)) + \xi(t)$$

$$z(t+1) = z(t) + c(t)$$

Если  $z(t) \geq z_n$ , то

$$x(t+1) = \alpha_1 x(t) + \xi(t)$$

$$z(t+1) = z(t),$$

где  $x$  — величина дохода (D);  $z$  — объем инвестиций (K);  $x_0$  — начальный доход;  $z_0$  — начальный объем инвестиций;  $\alpha_0$  — коэффициент доходности старой аналоговой технологии;  $\alpha_1$  — коэффициент доходности новой цифровой технологии;  $\xi$  — случайная величина, которая может принимать конечный набор значений.

Таким образом,  $x(t)$ ,  $z(t)$  — случайные процессы в дискретном времени.

В данной постановке сформулированная задача решается как вариационная задача методом динамического программирования:

$$M[x(T)I_{(z \geq z_n)}] \rightarrow \max_c,$$

где  $x(T)$  — ВП в конечный момент времени  $T$ ;  $c = c(x, z) < x$  — управляющий параметр, а  $I_{(z \geq z_n)}$  — индикатор события  $z \geq z_n$  случайная величина.

Здесь  $x(t)$ ,  $z(t)$  — валовой продукт системы и объем фонда реализации проекта в момент времени  $t$  соответственно (время  $t$  предполагается дискретным и принимает значения  $0, 1, 2, 3, \dots, T$ ),

Подчеркнем, что пороговое значение ФРП  $z_n$ , при котором происходит переход к новой технологии, в данной постановке фиксировано, неопределенность появляется в динамике системы. Здесь предполагается, что  $x \geq 0, z \in [z_0, z_n]$  могут в принципе принимать континуальное множество значений. Дискретизация и решение поставленной задачи подробно рассмотрено в работе [1].

Одной из задач исследования являлось создание на основе проведенного анализа программного комплекса принятия решений по инвестированию в новые технологии стандарта TETRA как инструмента управления для финансового менеджмента предприятия, модернизирующего существующую ведомственную сеть транкинговой связи.

### Реализация модели динамического программирования

Приведем пример решения поставленной задачи с заданными исходными данными в таблице 1. Пусть рассматривается экономическая система со следующими параметрами.

Ниже на графиках (рис. 2, 3) приведены результаты моделирования:

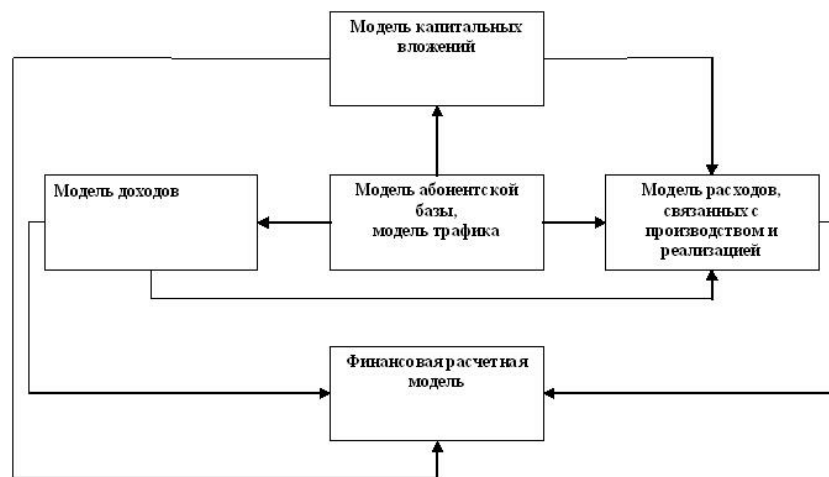


Рис. 1

На рис. 2 показана динамика изменения доходов, полученных при функционировании сначала старой (до 6 квартала), затем новой технологии.

Как видно на рис. 3 оптимальная стратегия предполагает внесение средств отдельными траншами: незначительные затраты на фазе поддержания старой технологии и существенный рост инвестиций на фазе строительства сети. Более четко это показано на графике изменения суммарного объема капиталных вложений.

Приведем результаты, полученные накопленным итогом на последнем шаге моделирования: инвестированные средства составили 128,00 млн. евро, доход — 916,00 млн. евро.

Однако подобные показатели не раскрывают эффективность стратегии инвестирования в общепринятом понимании, а дают ответ на вопрос, мо-

Таблица 1

№ п/п	Параметры системы	Обозначения параметров	Значения параметров
1.	Коэффициент доходности старой аналоговой технологии	отн. ед.	1,1340
2.	Коэффициент доходности новой цифровой технологии	отн. ед.	1,3105
3.	Необходимая сумма капитальных затрат	млн. евро	128,14
4.	Начальный капитал	млн. евро	110,00
5.	Начальный объем инвестиций	млн. евро	0,00
6.	Горизонт планирования	кварталы	16
7.	Шаг дискретизации	млн. евро	4
8.	Максимальный процент отчислений на инвестиции	%	25

жет ли быть проведена на заданном горизонте планирования эффективная модернизация технологии.

Конкретно реализацию приведенного алгоритма моделирования с использованием динамического программирования необходимо провести на основе общепринятых показателей экономической эффективности инвестиционных проектов.

Наиболее простым методом, позволяющим оценить абсолютную эффективность инвестиционных проектов, является расчет величины накопленного денежного потока за весь срок реализации проекта. Этот показатель, который еще называют салдо накопленных денежных средств, характеризуют суммарные денежные поступления от реализации проекта за вычетом инвестиционных и текущих затрат. Накопленный денежный поток (accumulated cash-flow, ACF) — это разница между суммой чистого денежного потока за весь период реализации инвестиционного проекта и суммой инвестиционных затрат на его реализацию. Расчет накопленного денежного потока от реализации инвестиционного проекта осуществляется по следующей формуле:

$$ACF = \sum_{t=1}^n CF_t - \sum_{t=1}^n I_t$$

где  $CF_t$  — денежный поток от реализации инвестиционного проекта на этапе  $t$ ;  $I_t$  — инвестиционные затраты на этапе  $t$ ;  $n$  — общее число этапов в расчетном периоде.

В свою очередь, величина денежного потока на этапе  $t$  рассчитывается следующим образом:

$$CF_t = CF_t^+ - CF_t^-$$

где  $CF_t^+$  — приток денежных средств от реализации инвестиционного проекта на этапе  $t$  (прибыль и амортизация);  $CF_t^-$  — отток денежных средств (кроме инвестиционных затрат), связанный с реализацией инвестиционного проекта, на этапе  $t$ .

Однако этот показатель не учитывает временной стоимости денег и не предполагает приведения разновременных денежных потоков к единому базовому периоду.

Изменение дохода нарастающим итогом

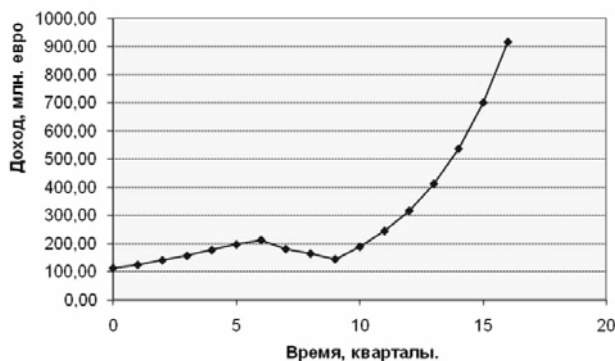


Рис. 2

Наиболее целесообразным методом оценки эффективности инвестиций для развертывания сетей нового поколения транкинговой связи в современных российских условиях является использование динамических методов оценки эффективности инвестиций с учетом дисконтирования денежных потоков. В отличие от статических динамические методы оценивают текущую стоимость вложений и поступлений в зависимости от момента их осуществления в течение всего инвестиционного периода. Они позволяют учесть неравномерность одинаковых сумм поступлений или платежей, относящихся к разным периодам времени, что чрезвычайно важно для корректной оценки проектов, связанных с долгосрочным вложением капитала.

Важнейшим среди показателей, основанных на дисконтированных методах расчета, является чистый дисконтированный доход. Чистый дисконтированный доход (net present value, NPV) — разница между приведенными к текущей стоимости суммой чистого денежного потока за весь период реализации инвестиционного проекта и суммой инвестиционных затрат на его реализацию. Расчет чистого дисконтированного дохода осуществляется по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+i)^t}$$

где  $i$  — норма дисконта.

Приведенная выше формула используется для расчета показателя NPV по тем инвестиционным проектам, которые предусматривают осуществление инвестиционных затрат в течение нескольких этапов, т.е. реализации инвестиционного проекта перехода к цифровым транкинговым системам.

При оценке эффективности проектов, в том числе проекта по модернизации транкинговой производственно-технологической сети связи рассчитывается показатель "Индекс доходности":

$$PI = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{(CF)_t}{(1+i)^t} \div \sum_{t=0}^{t=n} \frac{(I_0)_t}{(1+i)^t}$$

где  $(I_0)_t$  — капитальные вложения в квартале  $t$ , считая от даты начала инвестиций;

$\sum_{t=0}^t \frac{(I_0)_t}{(1+i)^t}$  — дисконтированные капитальные инвестиции в проект.

Более объективно рентабельность проекта оценивается с помощью внутренней нормы доходности [2].

Внутренняя норма — специальная ставка дисконта — IRR, при которой суммы поступлений и отчислений денежных средств дают нулевой чистый дисконтированный доход, т.е. приведенная стоимость денежных поступлений равна приведенной стоимости отчислений денежных средств. Иначе говоря, IRR удовлетворяет следующему уравнению:

Изменение объема инвестиций во времени

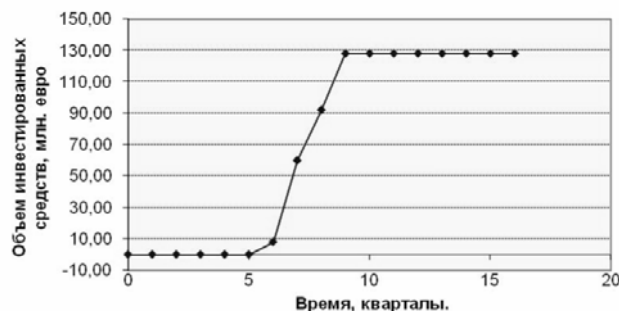


Рис. 3

$$\sum_{t=0}^T \frac{(CF)_t}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{(I_0)_t}{(1+IRR)^t}$$

Основой для всех расчетов служат данные по движению денежных потоков, что отражается в общей модели формирования основных денежных потоков, представленных на рис. 1. При этом базой для определения притока (доходов, амортизации) и оттока (капложений, эксплуатационных расходов и др.) денежных средств являются прогнозные значения основного показателя операторской деятельности — численности абонентской базы во взаимосвязке с производственно-техническим проектом поэтапного развертывания сети и частотного планирования.

В основе моделей доходов и расходов, принятых при описываемом подходе, лежат оценочные данные о развитии сетей связи перспективных технологий системы стандарта TETRA.

**Параметры модели капитальных затрат.** В частности, необходимые объемы затрат вычисляются исходя из проекта, а именно, данных о количестве и стоимости отдельных элементов сети (базовых станций сети, контроллеров базовых станций сети, зональных коммутаторов, сервисных опорных узлов, шлюзовых опорных узлов, совмещенных центров коммутации сети (MSC), баз данных о перемещениях абонентов (VLR), транспортных сетей RAN и CN).

Переход к технологии стандарта TETRA по всей территории РФ предлагается осуществлять несколькими этапами, характеризующими территорию, на которой начинает действовать новый стандарт связи:

- 1 этап — центр и магистрали Москвы и С.-Петербурга,
- 2 этап — территория внутри кольцевой автодороги,
- 3 этап — пригороды Москвы и С.-Петербурга,
- 4 этап — развитие сети в регионах.

Рассмотрение задачи построения сети стандарта TETRA на всей территории РФ, как одного проекта, снижает эффективность оценки параметров экономической системы: труднее прогнозировать рост цен на комплектующие, объем трафика и т. п. Поэтому, каждый этап развертывания сети проекта предлагается считать отдельным проектом, требующим своих объемов инвестиций и оценки эффективности инвестиционного проекта. Тем самым обеспечивается большая гибкость в принятии решений и управлении финансовыми потоками.

**Параметры модели эксплуатационных расходов.** Для моделирования величины эксплуатационных расходов использовался метод линейной зависимости: объем расходов линейно зависит от числа абонентов, изменяющегося во времени:

где  $OP(t)$  — величина эксплуатационных расходов;  $K_1$  — коэффициент пропорциональности;  $N(t)$  — число абонентов;  $ПР$  — постоянные расходы.

При этом коэффициент пропорциональности  $K_1$  не учитывает влияние инфляции, которое будет фигурировать в при расчетах дисконтированного денежного потока. Число абонентов увеличивается по мере роста осваиваемой технологией территории и рассчитывается из технических показателей пропускной способности системы по трафику.

**Параметры модели доходов.** Помимо увеличения пропускной способности системы и ее функциональных возможностей можно, исходя из маркетинговых или иных исследований, спрогнозировать увеличение абонентской базы и спрос на различные виды услуг.

$$OP(t) = K_1 * N(t) + ПР = e(t)$$

Использование прогнозов, дает возможность оценить темп роста доходов, и тем самым, определить важный параметр математической модели — коэффициент доходности новой цифровой технологии. Также, исходя из информации о развитии рынка потребителей услуг в рамках технологии предыдущих поколений транкинговой

Показатели эффективности	Значения показателей
Чистый дисконтированный доход, млн. евро	358,1541
Индекс доходности, отн. ед	4,476042
Внутренняя норма доходности, отн. ед	1,273938

связи (преобладающей на данный момент), вычисляется соответствующий темп роста доходов.

Расчет коэффициентов доходности за квартал при старой и новой технологии осуществлялся по формуле:

$$\dot{a}(t) = \left( \frac{x(t)}{x(t-1)} \right)^{1/4}$$

Показатель степени равен 1/4, так как за единицу времени взят квартал. При этом, в рамках рассматриваемого подхода учитывается явление "старения" текущей технологии: темп роста доходов со временем линейно уменьшается. Темп роста доходов при новой технологии, наоборот, должен увеличиваться.

**Расчет показателей эффективности.** Основной проблемой перехода к цифровым системам транкинговой связи является финансовая реализуемость проекта, которая характеризуется величиной показателей экономической эффективности.

Исходя из заданных моделей расчета капитальных вложений, эксплуатационных расходов и доходов рассчитываются показатели NPV, PI и IRR.

При этом учитывались только доходы и расходы, связанные с новой технологией. Для модельной ситуации, служащей примером, результат оценки параметров эффективности инвестиционного проекта получился следующий (табл. 2).

Следует обратить внимание на существенную особенность IRR. Если анализируемый отрезок времени увеличить, то внутренняя норма доходности резко возрастет. Этот факт легко объясняется тем, что капитальные инвестиции, как правило, приходятся на начало и середину проекта, и в последние кварталы система начинает активно приносить доход. Поэтому на достаточно больших интервалах времени IRR намного превышает различные оценки величины нормы дисконта, участвующей в расчете PI и NPV.

Таким образом, рассматриваемый проект модернизации ведомственной сети транкинговой мобильной связи оказался эффективным, что подтверждается очень высокой внутренней нормой доходности, превышающей 100%.

### Заключение

В работе предложен подход, позволяющий от характеристик проекта модернизации технологии перейти к параметрам математической модели, предложенной в [1] связав их с общепринятыми параметрами эффективности проекта модернизации. На конкретном примере доказано, что оптимальное управление процессом модернизации позволяет получить высоко оптимистичные результаты (прогнозы).

### Литература

1. Володина Е.Е. Математическая модель инвестирования в новые телекоммуникационные технологии. Вестник российской академии естественных наук, том 9. — №2, 2009. — С.52.
2. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (Вторая редакция) Минэкономки РФ, Министерство финансов РФ, ГК РФ по строительству, архитектуре и жилищной политике. — М: Экономика, 2000. — С.43.