

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЫВА И ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ РОССИЙСКОЙ ТЕЛЕФОНИИ\*

© 2017 В.К. Семенычев, А.А. Коробецкая, В.Н. Кожухова\*\*

**Ключевые слова:** стационарная и сотовая телефония, технологический разрыв, уровень насыщения, жизненный цикл, моделирование, прогноз, инвестиции.

Выполнены сравнительный анализ и прогнозирование статистических данных о стационарной и сотовой телефонии в России и мире, которые характеризуют их инвестиционную привлекательность. Рассчитаны положение и длительность технологического разрыва технологий связи, определен уровень насыщения рынка сотовой связи. Построены точечный прогноз и предиктивный интервал до 2025 г., ошибка прогноза не превышает 5 %. Инструментарий допускает распространение на другие области техники и экономики.

Сотовые и сетевые информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) получают все большее признание в качестве важнейших инструментов развития, а конкуренция на рынке заключается в снижении издержек, улучшении качества услуг связи и облегчении доступа к ним по всему миру. Качество инфраструктуры ИКТ является важным элементом в принятии решений для отечественных и иностранных инвесторов.

За последнее десятилетие приток финансирования и развитие технологий, наряду с приватизацией и либерализацией рынка, уже стимулировали резкий рост в сфере телекоммуникаций во многих странах. Доступ к услугам электросвязи вырос в беспрецедентных масштабах в основном за счет беспроводных технологий, которые позволили быстрее и, главное, менее затратно развертывать сети.

Одних государственных усилий зачастую может оказаться недостаточно для удовлетворения потребности в инвестициях на ИКТ. Государственно-частное партнерство, особенно с участием местных поставщиков и финансистов, может иметь решающее значение для снижения затрат и предоставления оптимального соотношения цены и качества ИКТ. В данной работе анализируется динамика про-

никновения стационарной и сотовой телефонной связи в России и мире в целом для того, чтобы позволить инвесторам обосновать решения по срокам и объемам финансирования.

Стационарные телефонные линии соединяют оборудование абонента с коммутируемой телефонной сетью. Термин “стационарная линия” также относится к телефонным аппаратам, которые используют металлические провода или кабели оптического волокна для передачи сигнала, в отличие от сотовой линии, которая использует радиоволны.

Международный союз электросвязи (МСЭ) считает, что в мире в начале 2010-х гг. уже было около 6 млрд абонентов мобильной связи. Во всем мире никакие технологии никогда не распространялись быстрее, чем сотовая связь. Она имеет особенно сильное влияние в сельских районах. Мобильность, простота использования, универсальность применения и относительно низкие и сокращающиеся затраты на внедрение беспроводных технологий позволяют сотовой связи охватить сельские группы населения с низким уровнем дохода и грамотности. МСЭ прогнозирует, что следующий миллиард абонентов мобильной связи будет состоять в основном из сельской бедноты<sup>1</sup>.

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-02-00340 “Инновационное развитие российских регионов в условиях санкций: оценки влияния, дифференциация, возможности опережающего развития”.

\*\* Семенычев Валерий Константинович, доктор технических наук, доктор экономических наук, профессор. E-mail: 505tot@mail.ru; Коробецкая Анастасия Александровна, кандидат экономических наук, доцент. E-mail: kornast@yandex.ru. - Самарский государственный экономический университет; Кожухова Варвара Николаевна, кандидат экономических наук, доцент Димитровградского инженерно-технологического института - филиала Национального исследовательского ядерного университета “МИФИ”. E-mail: kvn505@yandex.ru.

На основе параметрического моделирования динамики проникновения телефонной связи может быть осуществлен прогноз развития отрасли связи, а также определены технологические пики, уровни насыщения рынков и разрывы в жизненных циклах<sup>2</sup>. Под жизненным циклом продукта (в качестве которого в данной работе рассматриваются услуги и технологии) понимается период времени, на протяжении которого продукт проходит несколько этапов в развитии после его выведения на рынок. В качестве показателей динамики используются, как правило, доходы от продаж либо абсолютное число продаж.

В соответствии с динамикой жизненного цикла ускоряющийся рост сменяется замедляющимся и подходит к пику. Точку смены двух упомянутых видов роста будем называть точкой перегиба S-образной кривой. Любая технология в конце концов приходит в упадок, подойдя к технологическому пределу, и заменяется новой<sup>3</sup>. Время перехода от одной технологии к другой называют технологическим разрывом<sup>4</sup> (рис. 1).

На рис. 1 использованы следующие обозначения:  $Y$  - эффективность технологии,  $t$  - необходимое для ее развития время (или другой ресурс, например, финансы). Приращения  $\Delta Y$  и  $\Delta t$  обозначен технологический разрыв. Таким образом, технологический разрыв - это разность во времени точек перегиба двух технологий, характеризуемых кумулятивными (накопленными) S-образными кривыми.

После того как технологический подход преодолен, наступает момент, когда вкладывать средства в совершенствование новой

технологии выгоднее, чем в сохранение старой. Процесс замещения одной технологии другой приобретает необратимый характер.

Сравним динамику проникновения стационарной и сотовой телефонной связи в России и мире. Принципиально известен метод сравнения (скорее качественного, чем количественного) различных технологий с помощью двух кумулятивных логистических моделей Ферхюльста, симметричных относительно точки перегиба, в которой вторая производная равна нулю<sup>5</sup>. Модель Ферхюльста, предложенная в 1838 г., является одной из простейших логистических траекторий, не отражая многообразия возможной диффузии инноваций. Представление логистической траектории на интервалах значений разложением в ряд Тейлора или экспонентой и тому подобным также не допускает широкого практического применения.

С помощью более сложных логистических моделей, в том числе и импульсных (текущих), являющихся производными от кумулятивных, определим положение точек перегиба, вычислим характеристики технологического разрыва сравниваемых технологий. Выполним и прогнозирование динамики проникновения технологий для среднесрочной перспективы, что отсутствовало в известных результатах. Рассмотрим для этого статистику по числу стационарных телефонных линий и абонентов сотовой связи<sup>6</sup>. В число стационарных телефонных линий входят активные номера аналоговых стационарных абонентских линий, IP-телефонии (VoIP), линии беспроводного абонентского доступа (WLL - комбинация радиотелефонной линии и стацио-

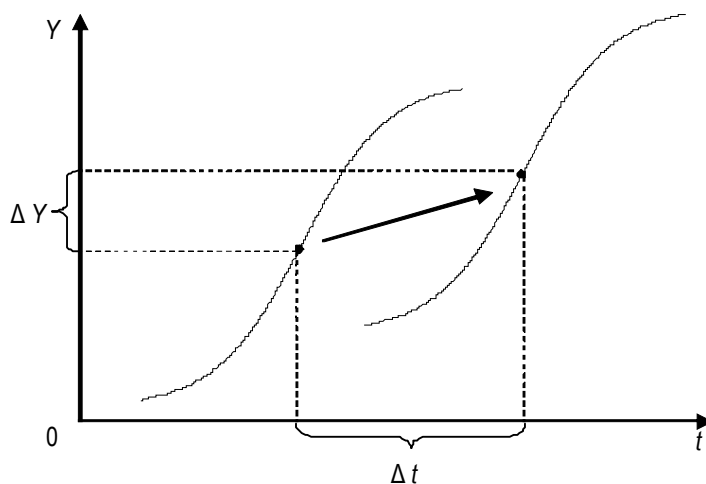


Рис. 1. Технологический разрыв

нарного телефона), абоненты сети ISDN и общественные таксофоны.

Число абонентов сотовой связи - число договоров предоставления доступа к телефонной сети общего пользования в рамках сотовых технологий. Показатель, включающий в себя количество постоплатных счетов и количество активных предоплаченных счетов (которые были использованы в течение последних трех месяцев), применяется для всех абонентов мобильной сотовой связи, которые предлагают голосовую связь. Это исключает связь через карты памяти или USB-модемы, договоры на государственные услуги мобильной передачи данных, частную мобильную радиосвязь с автоматическим перераспределением каналов, сеть беспроводных таксофонов, пейджинг и службы телеметрии. Оба показателя рассматриваются в расчете на 100 чел. населения (рис. 2).

Как видно из графиков, жизненный цикл стационарной связи уже прошел пик, в то время как сотовая связь еще его не достигла. Поэтому для моделирования первой динамики необходима колоколообразная импульсная модель, а для второй - S-образная логистическая кумулятивная модель<sup>7</sup>.

Для обеспечения высокого качества моделирования рассмотрен широкий комплекс моделей обоих видов и методов их идентификации, реализованных в авторском программном обеспечении.

По выбранной для каждого показателя модели будем строить точечный и интервальный прогноз (предиктивный интервал) до 2025 г. Для построения предиктивного интервала будем использовать следующую методи-

ку. Каждый временной ряд  $Y_t$  разделим на рабочую и контрольную части длиной  $n$  и  $l$ . На рабочей части выборки идентифицируем модели тренда  $T_t = f(\theta_0, t), t = \overline{1, n}$  и рассчитаем оценки ошибок модели  $\varepsilon_t = Y_t - T_t$ . Сгенерируем  $N \gg 0$  случайных выборок с характеристиками случайных остатков  $\varepsilon_{it}, i = \overline{1, N}$ , совпадающими с  $\varepsilon_t$ . В результате компьютерных симуляций получим распределение случайных оценок параметров модели  $\theta$  и прогнозных уровней тренда  $T_t$ . Предиктивный интервал будем строить на основе квантилей полученного распределения.

В качестве наиболее адекватных исследуемым жизненным циклам моделей были выбраны симметричная импульсная модель на основе распределения Лоренца - Коши<sup>8</sup> и ее асимметричные модификации, а также модель Басса<sup>9</sup>; в качестве S-образных моделей - модели Ферхюльста, Гомпертца, Ричардса, Шарифа - Кабира и Скиадаса<sup>10</sup>. Выбранные по лучшей совокупности критериев  $R^2$ , Акаике и Шварца модели представлены в табл. 1.

Результаты моделирования показаны на рис. 3, где  $Y_{fix}$  - число стационарных телефонных линий,  $Y_{cell}$  - число абонентов сотовой связи. Точками обозначены точки перегиба.

В табл. 2 показаны оценки положения точек перегиба моделей и рассчитаны ширина технологического пика и технологический разрыв.

В целом для России характерен высокий уровень проникновения как стационарной, так и сотовой связи.

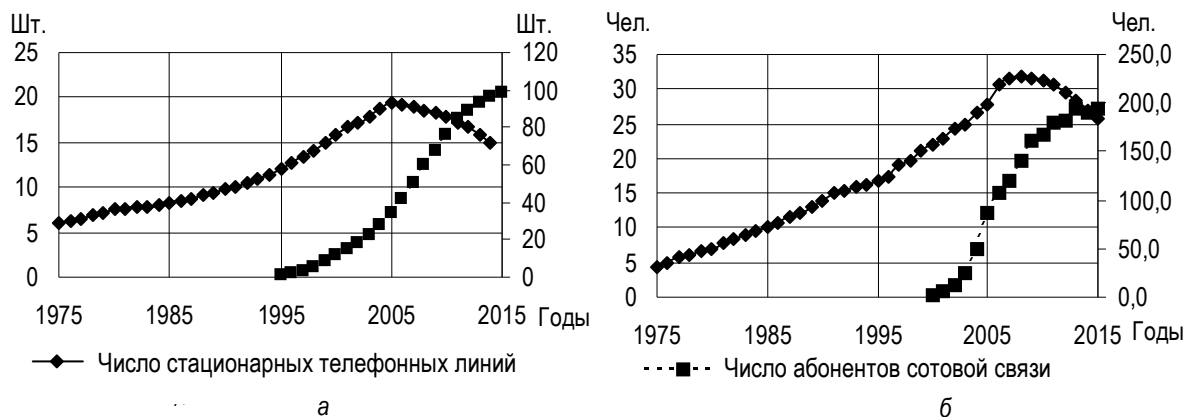


Рис. 2. Динамика проникновения стационарной и сотовой телефонной связи на 100 чел.: а - в мире; б - в России

Таблица 1

Комплекс моделей стационарной и сотовой связи в мире и в России

Связь	Мир	Россия
Стационарная	Асимметричная модификация модели Лоренца - Коши: $T_t = \frac{P_0 + P_1t + P_2t^2}{1 + Q_1t + Q_2t^2}$ $R^2 = 0,997$	Симметричная модель Лоренца - Коши: $T_t = \frac{P_0}{1 + Q_1t + Q_2t^2}$ $R^2 = 0,988$
Сотовая	Модель Ферхюльста $\frac{dT}{dt} = aT(1 - T / A_0),$ $R^2 = 0,999$	Модель Шарифа - Кабира $\frac{dT}{dt} = \frac{aT(1 - T / A_0)^2}{1 - T(1 - \gamma) / A_0},$ $R^2 = 0,998$

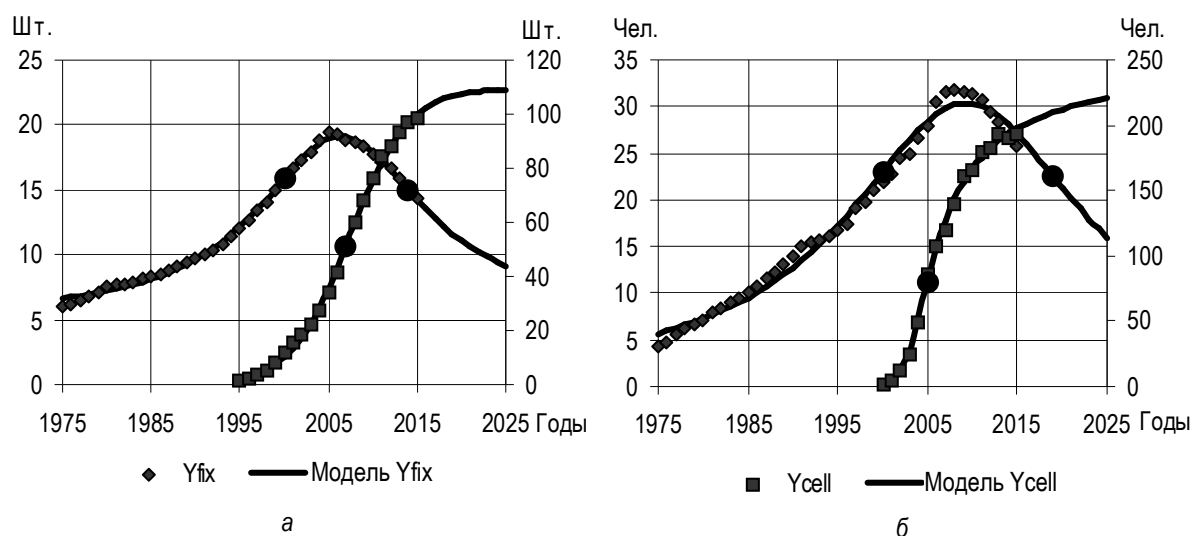


Рис. 3. Моделирование динамики проникновения стационарной и сотовой телефонной связи: а - в мире; б - в России

Таблица 2

Расчет показателей развития технологий связи

Показатели	Обозначение	Мир	Россия
Первая точка перегиба модели динамики проникновения стационарной связи	$t_{1fix}$	2000 г.	2000 г.
	$Y(t_{1fix})$	15,8	22,5
Вторая точка перегиба модели динамики проникновения стационарной связи	$t_{2fix}$	2014 г.	2019 г.*
	$Y(t_{2fix})$	15,0	22,5
Пик модели динамики проникновения стационарной связи	$t_{0fix}$	2006 г.	2009 г.
	$Y(t_{0fix})$	19,1	30,1
Ширина пика модели динамики проникновения стационарной связи	$W = t_{2fix} - t_{1fix}$	14 лет	19 лет
Точка перегиба модели динамики проникновения сотовой связи	$t_{1cell}$	2007 г.	2004 г.
	$Y(t_{1cell})$	51,3	51,5
Технологический разрыв	$\Delta t = t_{1cell} - t_{1fix}$	7 лет	4 года
Прогнозный уровень насыщения динамики проникновения сотовой связи	$t_{0cell}$	2017 г.*	После 2025 г.*
	$Y(t_{0cell})$	109,7*	255,4*

\* Прогнозное значение.

В настоящее время в России приходится один телефонный аппарат на четыре человека, а в максимуме этот показатель составлял один аппарат на троих. В то же время в мире этот показатель не превысил одного аппара-

та на пять человек. Замедление роста числа телефонных линий в России и в мире произошло одновременно в 2000 г. В то же время ширина пика стационарной связи в России больше на пять лет.

Несмотря на то, что в России сотовая связь появилась позже на пять лет, скорость ее роста оказалась выше, чем в мире, а выход на стадию насыщения рынка опередил общемировой рост на три года. По полученному прогнозу, уровень насыщения проникновения сотовой связи в России почти в 2,5 раза превышает мировой уровень. Если в прогнозе для мира характерно соотношение “одна симкарта на одного человека”, то для России - пять симкарт на два человека.

Отметим, что распределение параметра  $A_0$  логистических моделей (рис. 4), отвечающего за уровень насыщения, имеет длинный правый хвост: коэффициент асимметрии для России равен 1,1, а для мира - 0,2. Иными словами, высокие значения уровня насыщения рынка сотовой связи более вероятны, чем низкие.

В табл. 3 представлены прогнозные уровни и 99 %-ные предиктивные интервалы проникновения стационарной и сотовой связи в России и в мире на 2020 и 2025 гг., а также дана характеристики точности прогнозов:  $MAPE$ -оценка,  $T_2$  - второй коэффициент Тейла,  $Z$  - критерий Загоруйко. Последний ис-

пользуется на падающей динамике тренда, где он более адекватен, чем  $T_2^{11}$ .

На рис. 5 и 6 показаны построенные модели (толстая сплошная линия), предиктивные интервалы (пунктирные линии), эмпирическое распределение каждой точки прогноза (тонкие сплошные линии).

Отметим, что в долгосрочной перспективе обеспечить точный прогноз затруднительно. Тем не менее, все характеристики точности прогноза не превышают 20%, а большинство - 5%. В целом, для более высокого уровня агрегирования (для мира) точность прогнозирования выше, чем для отдельной страны (например, для России).

В перспективе до 2025 г. уровень проникновения стационарной связи продолжит снижаться, но значительно более медленными темпами: в мире этот показатель снизится до 7-10 телефонных линий на 100 чел. населения, а в России - до 14-17. Что касается сотовой связи, то число абонентов продолжит расти, хотя и с замедлением, и достигнет в мире 106-113 абонентов на 100 чел. населения, а в России - 216-230 абонентов.

Эволюция динамики проникновения сотовой связи может зависеть и от появления

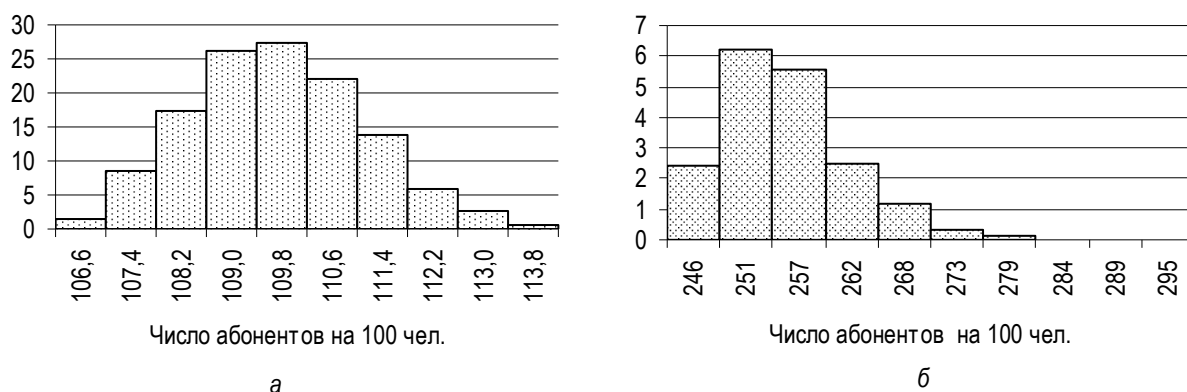


Рис. 4. Распределение уровня насыщения параметра  $A_0$  динамики проникновения сотовой связи: а - в мире; б - в России

Таблица 3

Прогноз динамики технологий связи

Показатели		Стационарная		Сотовая	
		Мир	Россия	Мир	Россия
Точечный прогноз	2020 г.	11,1	21,3	107,5	212,3
	2025 г.	9,1	15,9	109,2	221,1
99 %-ный предиктивный интервал	2020 г.	(10,0; 11,8)	(19,8; 22,9)	(104,6; 110,5)	(207,9; 219,0)
	2025 г.	(7,7; 10,0)	(14,3; 17,3)	(106,0; 112,8)	(216,3; 229,8)
$MAPE$		0,96%	3,86%	1,50%	3,42%
$T_2$		1,15%	3,31%	1,35%	1,87%
$Z$		2,99%	18,13%	1,20%	3,92%

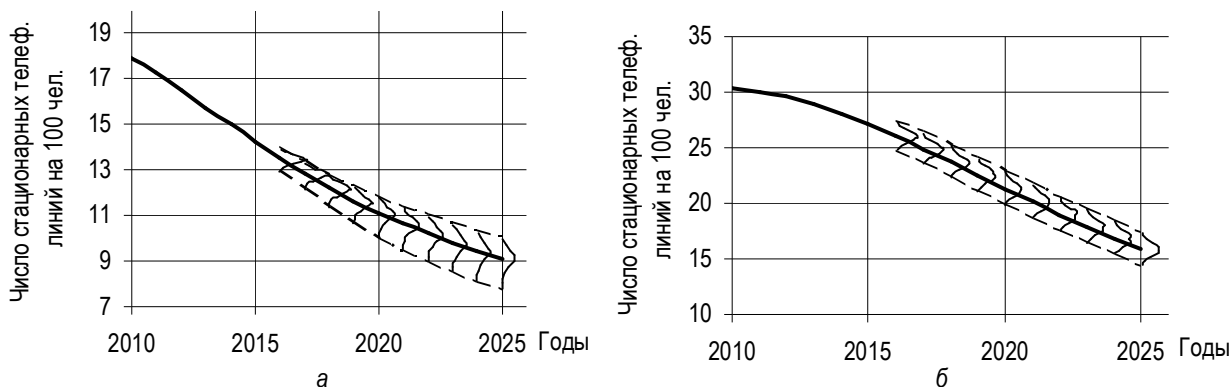


Рис. 5. Распределение прогнозных значений динамики проникновения стационарной связи: а - в мире; б - в России

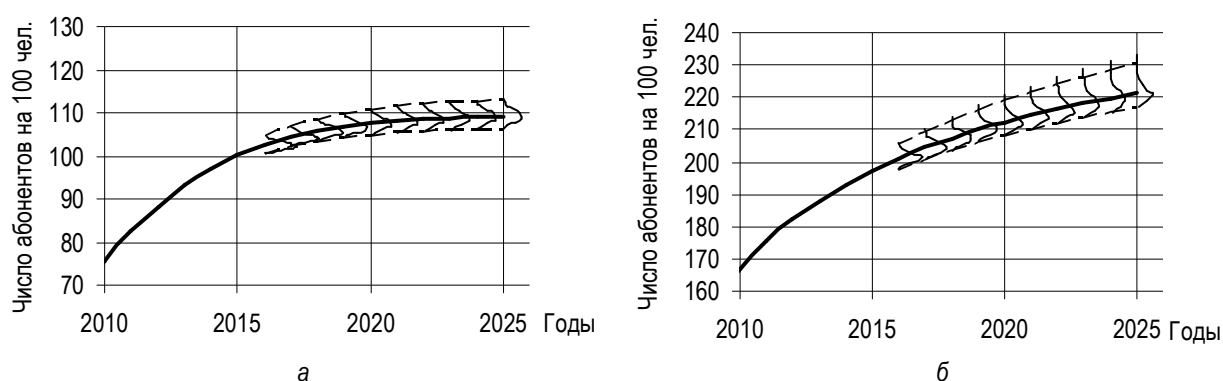


Рис. 6. Распределение прогнозных значений динамики проникновения сотовой связи: а - в мире; б - в России

новой замещающей технологии. Пока не появится такая технология, переход жизненного цикла сотовой технологии к спаду не ожидается. Тогда модель последней можно будет рассматривать как композицию двух логистических моделей - растущей и падающей, сменяющих друг друга.

В то же время уже сейчас происходит изменение структуры доходов операторов сотовой связи. Традиционные услуги голосовой связи, передачи SMS/MMS-сообщений замещаются ОТТ-сервисами с аналогичным и даже более высоким функционалом (WhatsApp, Viber, Skype и др.). Так, выручка от услуг голосовой связи в 2015 г. снизилась на 7,6 % по сравнению с 2014 г., достигнув самого низкого значения за последние 5 лет. По прогнозам экспертов, в ближайшем будущем услуги голосовой связи станут полностью бесплатными. Вместо них оператор будет получать деньги с владельца контента, распространяемого через сеть оператора. Сейчас операторы связи начали активно запускать новые проекты - контентные, рекламные, финансовые<sup>12</sup>.

Таким образом, несмотря на замедление роста рынка сотовой связи, уровень насыщения будет достигнут лишь в отдаленной перспективе, поэтому инвестирование в данную отрасль по-прежнему выглядит привлекательным. Отрасль трансформируется и переходит к новым моделям ведения бизнеса.

Предложенная методика анализа динамики (с возможностью оценки нескольких точек перегиба, ширины и высоты пика модели и, главное, прогнозного уровня) имеет большую точность и обладает инвестиционной привлекательностью в области связи. Ее можно применить и для сравнения динамики ИКТ в других странах с мировыми показателями, а также динамики ИКТ между различными странами и аналогично для иных отраслей техники, используя в случае необходимости и другие логистические модели.

Если бюджетных возможностей стран может оказаться недостаточно для удовлетворения потребности в инвестициях, то целесообразно вести работу по организации государственно-частного партнерства или межстранового сотрудничества.

<sup>1</sup> International Telecommunication Union, World Telecommunication/ICT Development Report and database. URL: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/wtid.aspx> (дата обращения: 24.02.2017).

<sup>2</sup> См.: *Brandt A.R.* Methods of forecasting future oil supply // Technical report 6, UKERC Review of Evidence for Global Oil Depletion, UK Energy Research Centre. 2009. 97 p; *Levitt T.* Exploit the Product Life Cycle // Harvard Business Review. 1965. Vol. 43. P. 81-94.

<sup>3</sup> См.: *Ayres R. U.* Technological transformations and long waves // Journal of Technological Forecasting and Social Change. Vol. 36 (3). 1989. P. 225-361; *Grübler A.* The Rise and Fall of Infrastructures: Dynamics of Evolution and Technological Change in Transport. Heidelberg ; New York : Physica-Verlag, 1990. P. 12-25.

<sup>4</sup> *Твисс Б.* Управление научно-техническими нововведениями / сокр. пер. с англ. К.Ф. Пузыня. Москва : Экономика, 1999. 271 с.

<sup>5</sup> См.: *Нижегородцев Р.М.* Логистическое моделирование экономической динамики. Ч. II // Проблемы управления. 2004. Вып. 2. С. 52-58; *Твисс Б.* Указ. соч.

<sup>6</sup> См.: Федеральная служба государственной статистики : офиц. сайт. URL: <http://www.gks.ru/>; World Bank Open Data. URL: <http://data.worldbank.org/indicator/>.

<sup>7</sup> *Semenychev V.K., Kurkin E.I., Semenychev E.V.* Modelling and forecasting the trends of life cycle in the production of non-renewable resources // Energy. Vol. 75. 2014. P. 244-251.

<sup>8</sup> *Petrescu E.* A statistical distribution useful in product life-cycle modeling / Emil Petrescu // Management & Marketing. Vol. 4, No 2. 2009. P. 165-170.

<sup>9</sup> *Bass F.M.* A new product growth model for consumer durables // Management Science. Vol. 15. 1969. January. -P. 215-227.

<sup>10</sup> См.: Descriptive and Predictive Growth Curves in Energy System Analysis / M. Höök [et al.] // Natural Resources Research. 2011. Vol. 20, Number 2. P. 103-116; *Fisher J.C., Pry R.H.* A Simple Substitution Model for Technological Change // Technological Forecasting and Social Change. 1971. Vol. 2. P. 75-88; *Modis T.* Strengths and Weaknesses of S-Curves // Technological Forecasting & Social Change. Vol. 74, No 6. 2007. P. 866-872.

<sup>11</sup> *Загоруйко Н.Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск : ИМ СО РАН, 1999. 270 с.

<sup>12</sup> *Русяева П., Архангельская Е., Юзбекова И.* Связь будущего: смогут ли операторы сделать ее бесплатной // РБК. 01.06.2016. URL: [http://www.rbc.ru/technology\\_and\\_media/01/06/2016/574d76d69a7947dd5563200d](http://www.rbc.ru/technology_and_media/01/06/2016/574d76d69a7947dd5563200d) (дата обращения: 11.03.2017).

*Поступила в редакцию 10.02.2017 г.*