

Информационные технологии

Моделирование диффузии технологий широкополосного доступа в интернет

М.Г. Дубинина

Аннотация. В данной работе рассматривается современное состояние и факторы, влияющие на показатели распространения различных технологий широкополосного доступа в интернет в развитых и развивающихся странах. Анализируются подходы к моделированию процессов диффузии широкополосного доступа в интернет. Оценивается влияние социо-экономических факторов на скорость диффузии. На основе панельных данных по 34 странам OECD за 2000-2015 гг. исследуются параметры модели диффузии конкурирующих технологий широкополосного доступа в интернет для различных групп стран.

Ключевые слова: *диффузия технологий, широкополосный доступ в интернет, конкуренция технологий, технологии фиксированного доступа в интернет, технологии мобильного доступа в интернет.*

1. Введение

Важность интернета в настоящее время не подлежит сомнению. Интернет предоставляет возможность широкого общения, образования, установления деловых контактов и ведения своего бизнеса в любой точке земного шара, где есть к нему доступ. В 2015 г. число пользователей интернета на 100 человек жителей составило 43.4 человек, а общее число пользователей интернета в мире достигло 3.17 млн. человек. По сравнению с 2005 г. этот показатель вырос в 3 раза. Доля домашних хозяйств, имеющих доступ к интернету, выросла с 18.4% в 2005 г. до 46.4% в 2015 г. [18].

В настоящее время ИКТ-технологии развиваются по пути совершенствования инфраструктуры широкополосного доступа в интернет и приложений для конечных пользователей. Широкополосный доступ в интернет определяется как технология, которая позволяет высокоскоростную передачу данных (от 128 кб/с и выше). Для развивающихся стран и стран с переходной экономикой, где доступ и использование широкополосного интернета ограничены, он может играть значительную роль в качестве движущей силы экономического и социального прогресса.

Влияние широкополосного доступа в интернет на экономику разных стран имеет несколько аспектов, начиная от его совокупного влияния на рост ВВП (который оценивается разными авторами в размере 0,25-1,38% на каждые 10% роста числа подписчиков широкополосного подключения [35]), до воздействия на развитие отраслей промышленности, увеличение экспорта, изменение структуры импорта, роста численности занятых. Все это объясняет важность исследования факторов, влияющих на скорость распространения технологий широкополосного доступа в интернет.

В первой части данной статьи дается описание основных факторов, влияющих на скорость диффузии новых технологий в общем и диффузии технологий широкополосного (broadband, ВВ) подключения к интернету – в частности. Во второй – рассмотрены методы и подходы, принятые в современной литературе для описания процессов диффузии технологий, в том числе технологий ВВ. В третьей произведено моделирование диффузии технологий ВВ для разных стран с учетом различных факторов, влияющих на скорость, время и характер их распространения.

2. Факторы, влияющие на скорость распространения технологий

Некоторые технологии или новые продукты быстро проникают на рынок, другим требуется гораздо больше времени, третьи так и остаются на уровне разработок или опытных образцов. С одной стороны, пользователи ожидают непрерывного улучшения качества продукта, но при этом сложные технологии, требующие от пользователей необходимости развивать технические навыки (что увеличивает затраты на принятие технологий), могут иметь более низкую скорость диффузии и рыночный потенциал.

Для скорейшего распространения новая технология должна обладать рядом свойств: относительным преимуществом перед предыдущим поколением; полезностью, достаточной простотой использования; возможностью предварительного ознакомления. Должны существовать каналы передачи информации о технологии для остальных потенциальных пользователей. Кроме того, диффузия новой технологии в каждой стране протекает по-разному. Наличие географических соседей, уже использующих данную технологию, повышает скорость диффузии. На процесс диффузии могут влиять политическая обстановка в стране, наличие конкуренции со стороны других технологий, общий образовательный уровень населения и другие факторы. Таким образом, наряду с микроэкономическими (технологическими) факторами, связанными с характеристиками продукта или технологии, темпы распространения технологии или нового продукта в стране зависят от макроэкономических и демографических факторов [9].

Процессы диффузии информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) стали объектами исследований в большом числе научных статей. В этих исследованиях особое внимание уделяется исследованиям влияния различных факторов на

характер распространения этих технологий. Технологические характеристики оказывают прямое влияние на диффузию ИКТ. В то же время создание телекоммуникационной инфраструктуры зависит от экономического развития страны, что также объясняет разницу в темпах распространения технологий. Многочисленные исследования подтвердили вывод о том, что чем богаче страна, тем быстрее развивается в ней диффузия информационных технологий. Таким образом, экономические факторы могут оказывать как прямое воздействие на процесс диффузии, так и опосредованное, через технологические факторы. И, наконец, национальная культура также является важным фактором, влияющим на процесс диффузии. Степень распространения технологии может зависеть от прочности отношений между группами стран, имеющих различные национальные культуры. Например, во всех азиатских странах преобладают оптоволоконные технологии фиксированного широкополосного доступа в интернет.

Широкополосное подключение к интернету, которое является объектом настоящего исследования, реализуется с помощью целого ряда технологий, которые можно разделить на две группы: проводные и беспроводные технологии, или технологии фиксированного и мобильного подключения к интернету. Важным показателем преимущества технологии доступа в интернет является большая скорость передачи данных. В большинстве стран технологии фиксированного широкополосного доступа обеспечивают большую *скорость загрузки*. Единственным исключением из этого подхода являются тарифы широкополосного подключения, где объем данных ограничен. В таком случае *объем доступного трафика* играет важную роль в принятии решения о подключении по данной технологии. Однако такие ограничения имеются лишь в нескольких странах OECD (Австралия, Канада, Новая Зеландия и Турция). Динамика скоростей

Таблица 1

Средние скорости передачи информации по технологиям фиксированной широкополосной связи, Мбит/с

Технологии	2010		2012		2014	
	Скорость загрузки	Скорость выгрузки	Скорость загрузки	Скорость выгрузки	Скорость загрузки	Скорость выгрузки
Кабельная	29,73	2,67	43,1	3,5	58,7	4,4
Оптоволоконная	93,13	59,97	86,9	36,7	131,8	54,7

Источник: [27]

выгрузки и загрузки по различным технологиям фиксированного широкополосного подключения к интернету представлена в табл. 1.

Большую роль в распространении технологий широкополосного подключения к интернету играет соотношение цены и скорости доступа в интернет, и эта скорость меняется в зависимости от степени развития технологий, а также от предлагаемых провайдерами тарифных планов. Так, например, если в 2002 г. один из наиболее распространенных базовых тарифов обеспечивал скорость подключения 256 кбит/с, то по данным OECD, в 2014 г. в Южной Корее 34,1% широкополосного подключения к интернету обеспечивало скорость свыше 100

Мб/с. В Японии этот показатель составил 19,7%, в Швейцарии – 5,6%, в Финляндии – 5%. Такая скорость доступна пока только фиксированному широкополосному подключению. Однако динамика отношения скоростей по двум конкурирующим технологиям (табл. 2) свидетельствует о том, что они сближаются по этому показателю, а цена мобильного подключения в ряде стран пока остается ниже фиксированного.

Таким образом, к технологическим факторам, определяющим диффузию конкурирующих технологий широкополосного подключения к интернету, можно отнести соотношения цен на их установку, тарифных планов и скоростей передачи данных.

Таблица 2

Сопоставление скорости и ежемесячной абонентской платы по технологиям фиксированного и мобильного подключения к интернету

Страны	Отношение максимальной скорости скачивания по фиксированной технологии к максимальной по мобильной			Отношение ежемесячной абонентской платы по фиксированному подключению к мобильному	
	2008	2010	2014	2008	2010
Австралия	9,1	1,97	1,18	1,04	1,33
Австрия	7,8	1,76	1,71	2,50	1,88
Бельгия	8,3	2,23	1,24	1,39	0,62
Канада	7,6	5,83	4,78	1,03	0,76
Чехия	6,2	2,08	1,07	3,87	1,47
Франция	30,3	2,00	2,33	1,06	0,62
Германия	15,2	1,72	1,33	3,79	3,01
Греция	7,5	2,55	0,51	1,00	0,49
Исландия	6,7	2,48	2,05	4,03	1,50
Италия	6,1	1,53	1,02	1,51	0,88
Южная Корея	30,3	11,47	1,33	1,39	1,67
Нидерланды	15,2	3,92	6,83	2,16	0,99
Новая Зеландия	15,6	3,08	2,05	1,33	0,61
Норвегия	25,0	3,74	12,80	5,90	2,40
Португалия	9,3	10,62	2,73	1,15	1,15
Испания	15,2	2,04	0,68	0,87	0,49
Великобритания	7,3	1,89	2,59	1,44	0,79
США	15,2	5,18	12,19	0,98	0,61

Рассчитано по данным: [28, 29, 17, 21].

3. Анализ подходов к моделированию диффузии технологий широкополосного доступа в интернет

При моделировании обычно используют два способа оценки скорости процессов диффузии ИКТ: когда процесс распространения технологии оценивается с точки зрения накопленного количества ее пользователей (такой процесс описывается с помощью S-кривых, см. например, работы Гриллехеса [15], Сахала [4], Варшавского [1]), и с точки зрения количества новых пользователей технологии в году t (в качестве функциональной формы зависимости берется колоколообразная кривая). Выбор способа задания функции зависит от целей моделирования. Например, поставщики услуг доступа в интернет учитывают, в основном, накопленное количество пользователей, тогда как продавцы мобильных устройств в большей степени оценивают спрос со стороны новых пользователей технологий. Обзор современных подходов к моделированию диффузии технологий представлен в работе [2]. В данном исследовании оценивается накопленное количество пользователей.

Для описания диффузии большого спектра новых технологий используются S-образные кривые различных видов: Гомпертца [14], Перла [30], Фишера-Прая [12], Басса [6], Вейбулла [38] и др. Выбор типа функциональной зависимости и количественная оценка параметров модели в каждой стране зависит от целого ряда факторов: сложившейся инфраструктуры, методов регулирования, уровня конкуренции, демографических и социально-экономических факторов.

Среди исследований, посвященных диффузии информационно-коммуникационных технологий, особое место занимают технологии широкополосного доступа в интернет, т.к. степень их развития определяет скорость распространения прочих ИТ-технологий. Анализу распространения широкополосного доступа в интернет посвящены работы Turk и Trkman [36], García-Murillo и Rendón [13], Grzybowski [16], Srinuan и др.[34], Sedoyeka и Hunaiti [32], Lin и Wu [20], Dauvin и Grzybowski [11], Mayer и др. [22], Nakamura [24].

В работе Кузнецова и др.[3] рассматривается процесс перехода от коммутируемого к широкополосному доступу в интернет и предлагается использование модели взаимодействия двух биологических популяций Гилпина – Айала для описания конкурентного взаимодействия двух последовательных поколений технологии.

В работе Meade и Islam [23] рассмотрены различные виды моделей диффузии информационных

технологий (модель Басса, кумулятивная логистическая кривая и др.) на примере распространения беспроводного доступа в интернет в Финляндии. Авторы получили оценки параметров нелинейных регрессионных уравнений, включающих в себя зависимость скорости распространения ИКТ от уровня ВВП страны. В качестве оценки точности прогнозирования использовалась величина RMSE (среднеквадратичная ошибка, root mean square errors) и средняя абсолютная процентная ошибка. При сравнении различных моделей авторами исследования было получено, что модель Басса дает хорошее приближение для описания процесса диффузии, но производит наименее точные прогнозы, в то время как использование кумулятивной логистической кривой приводит к самым точным прогнозам, независимо от того, какие данные используются, кумулятивные или нет.

Особое место в моделировании диффузии технологии занимает вопрос об оценке ее рыночного потенциала. Если ранее предполагалось, что он не превышает 100%, то некоторые технологии уже перешагнули этот рубеж в ряде стран, т.к., например, один человек может иметь сразу несколько телефонов или несколько видов подключений к интернету.

В работе Bagchi и др.[5] изучалось влияние снижения цен на скорость распространения мобильной и фиксированной телефонной связи в 6 больших регионах мира. В качестве модели рассматривалась логистическая модель с ценовыми факторами вида:

$$F(t) = \frac{m \exp(-\alpha h (P_t / P_o))}{(1 + \exp(-(a + b)))},$$

где P_t – цены в момент времени t , m – потенциал рынка. Если полученный коэффициент α оказывается существенно отличным от нуля, то это означает рост потенциала рынка со снижением цен на данную технологию. Авторами было получено, что снижение цен играет существенную роль на увеличение скорости диффузии в слаборазвитых странах, особенно если они являются политически стабильными и имеют высокий образовательный уровень населения.

В целом, исследования межстрановой диффузии ИКТ обычно сосредотачиваются на выявлении факторов, влияющих на ее скорость и интенсивность, а не на прямое прогнозирование. Так, например, в работе Turk и Trkman [36] были оценены параметры диффузии технологий ВВ на основе данных ОЭСД для 20 европейских стран с 2001 по 2010 гг. Был проведен анализ процесса диффузии и получены предварительные оценки параметров,

которые показали, что 100%-ное проникновение ВВ не может произойти в ближайшее время.

В работе Vellos и др.[7] оценивались эконометрические зависимости прироста числа новых подписчиков широкополосного подключения к интернету от государственной политики в области телекоммуникаций. В результате анализа были получены значимые зависимости для программ долгосрочного кредитования для широкополосных поставщиков и национальных программ финансирования, а также создания государственно-частных партнерств с публичным или частным правом собственности на сети инфраструктуры. Другие политические меры имели более низкое воздействие на диффузию ВВ, и такие эффекты не являлись статистически значимыми. Анализ влияния политических действий показал, что общественный спрос конкретных услуг, создание стимулов для спроса со стороны бизнеса или частного спроса, предоставление субсидии в пользу отдельных потребителей или отдельных категорий потребителей, имеют положительное и статистически значимое воздействие на диффузию широкополосного доступа к интернету.

Существует большое число научной литературы по диффузии ВВ с основным акцентом на влияние конкуренции и регулирования на процесс диффузии. В целом, было установлено, что конкуренция оказывает значительное положительное влияние на диффузию, но с некоторыми отличиями по отношению к важности конкуренции внутри платформ и между ними.

Так, например, в работе Bouckaert и др.[8] различаются три типа конкуренции между провайдером ВВ в зависимости от типа регулирования: 1) конкуренция между платформами, которая не зависит от регулирования доступа, но возникает от соперничества между несколькими видами инфраструктур в стране (например, оптоволоконные и кабельные сети); 2) внутриотраслевая конкуренция платформ, когда поставщики услуг должны инвестировать средства в собственное оборудование; 3) конкуренция внутри платформ на основе предоставляемых услуг (например, перепродажа широкополосных услуг действующих операторов).

В результате анализа панельных данных по 20 странам ОЭСР за период 2003-2008 гг. с помощью линейной регрессионной модели со случайным эффектом авторами была получена положительная зависимость диффузии ВВ от конкуренции между платформами, в то время как конкуренция внутри платформ оказывала малый или незначимый эффект на процесс диффузии.

Помимо конкуренции и переменных регулирования, в научной литературе рассматриваются также некоторые социально-экономические факторы, оказывающие влияние на процесс диффузии ВВ. Среди них показатели ВВП на душу населения, уровень распространения компьютеров, плотность населения и качество образования.

Еще одно исследование (Dauvin и Grzybowski, [11]) использует данные по 27 европейским странам за 2006-2010 гг. для оценки линейной и логистической функций распространения технологии широкополосного доступа к интернету. На основе панельных данных по 97 регионам ЕС авторами были проанализированы региональные различия среди конкурирующих платформ и получено, что индекс Херфиндаля-Хиршмана (Herfindahl-Hirschman index, ННН), который рассчитывался на основании опросов домашних хозяйств о способе их подключения к интернету и рассматривал 4 варианта ответа: DSL, кабельный модем, мобильное подключение и другие, имеет значительное положительное влияние на диффузию широкополосного доступа к интернету. В качестве социо-экономических факторов в модели рассматривались уровень дохода (или ВВП на душу населения), число домашних хозяйств, доля домашних хозяйств, имеющих подключение к интернету через компьютер, плотность населения и образовательный уровень населения (измеряемый как доля студентов и учащихся в общей численности населения региона). Отдельно выделялись факторы спроса и предложения (которые, в свою очередь, разделялись на стоимостные факторы и разграничительные детерминанты). В качестве модели диффузии рассматривалась S-кривая, задаваемая уравнением:

$$y_{it} = \frac{y_i^*}{1 + \exp(-a_{it} - b_{it} t)},$$

где y_i^* - максимальный уровень распространения технологии; a_{it} - временной параметр, который передвигает кривую диффузии вперед или назад в зависимости от знака, без изменения формы кривой; b_{it} - параметр скорости диффузии, соответствующий темпу роста числа пользователей технологии относительно числа тех, кто технологию пока не принял.

В качестве оценки y_i^* в работе рассматривалось общее число домохозяйств, скорость диффузии предполагалась зависимой от конкуренции и в модели приближена индексом ННН и долей действующих DSL-соединений: $b_{it} = \beta_0 + M_{it}\beta_1$, где M_{it} - разграничительные параметры.

$$a_{it} = \alpha_0 + D_{it}\alpha_1 + C_{it}\alpha_2,$$

где D_{it} – факторы спроса, C_{it} – стоимостные показатели. Например, предполагается, что спрос на ВВ подключение растет вместе с ростом среднедушевых доходов, высокой долей учащихся, высокой долей компьютеров. Со стороны спроса более высокая плотность населения снижает стоимость установки и увеличивает долю распространения технологии за счет более низкой цены.

Панельные данные оценивались одновременно со случайным и фиксированным эффектом. Было получено, что для всех регрессионных зависимостей индекс ННИ значим и оказывает отрицательное влияние на скорость распространения технологии, т.к. более высокий индекс свидетельствует о более высокой концентрации и меньшей конкуренции между платформами.

В работе Kyriakidou и др.[19] для анализа процесса диффузии ВВ использовались следующие социо-экономические факторы: ВВП на душу населения; доля занятых в сфере S&T в общей численности трудовых ресурсов; доля онлайн доступности 20 основных публичных услуг; доля обучающихся по направлениям S&T на 1000 человек в возрасте 20–29 лет; работники, использующие компьютеры с подключением к интернету; неравенство доходов; доля лиц в возрасте 25-49 лет в численности населения; ожидаемое число лет обучения в течение жизни; число лиц, использующих интернет для получения товаров или услуг в общей численности населения в возрасте от 16 до 74 лет; инвестиции в ИКТ как процент ВВП; процент квалифицированных пользователей компьютерами в общей численности населения в возрасте от 16 до 74 лет; процент квалифицированных пользователей интернета в общей численности населения в возрасте от 16 до 74 лет; цены на телекоммуникационные услуги (местные звонки в течение 10 минут); инвестиции в коммуникации как процент ВВП, плотность населения. Воздействие этих факторов было проанализировано для разных стадий диффузионного процесса.

Согласно результатам исследования, авторами было показано, что уровень развития электронного правительства, онлайн доступности и повышение правительственных расходов на телекоммуникации могут ускорить процесс диффузии. Кроме того, доля лиц, работающих с использованием компьютеров, подключенных к интернету, является движущим фактором для распространения широкополосной связи на всех ее стадиях. Плотность населения можно рассматривать в качестве вспомогательного па-

раметра в этом процессе, поскольку урбанизация способствует диффузии ИКТ.

На стадии до точки перегиба дополнительным фактором, ускоряющим диффузию широкополосного подключения к интернету, являются интернет-навыки. Таким образом, политика, направленная на мотивацию людей получать такого рода навыки, может способствовать ускорению диффузии.

При анализе конкуренции фиксированного и мобильного широкополосного доступа в интернет не решен вопрос, является ли мобильный доступ дополнением или заменой фиксированного. Для исследования этого Lee и др.[31] в модель диффузии мобильного широкополосного подключения была включена цена фиксированного подключения в качестве независимой переменной. Если мобильный доступ является дополнением к фиксированному, спрос на мобильный доступ увеличивается, когда цена фиксированной связи уменьшается, и спрос на мобильную связь снижается, когда цена фиксированного широкополосного доступа увеличивается. Конкуренция возникает, когда различные технологии начинают претендовать на предоставление телекоммуникационных услуг конечным пользователям.

В работе Sharif и Ramanathan [33] предложена логистическая модель с динамическим потенциалом рынка (Logistic Growth within a Dynamic Carrying Capacity, LGDCC), в которой диффузия технологии описывается уравнением вида:

$$\frac{dY(t)}{dt} = \left(a \frac{Y(t)}{N(t)} \right) (N(t) - Y(t)),$$

$$\frac{dN(t)}{dt} = a_k \frac{N(t)}{N_k} (N_k - N(t)).$$

Подставляя второе уравнение в первое, получаем следующую зависимость:

$$Y(t) = \frac{N_k}{1 + \exp(-at + b) + \frac{a}{a - a_k} \exp(-a_k t + b_k)}.$$

В работе Calzada и Martnez-Santos [10] исследовались факторы, влияющие на цену подписок на технологии широкополосного подключения к интернету (технические, коммерческие, конкурентные и регулируемые). В качестве технических факторов учитывались скорости загрузки и скачивания информации, доля распространения технологии. Коммерческие факторы учитывали стратегию формирования тарифных планов операторами (общие тарифные планы на доступ в интернет и

передачу голосовых сообщений или кабельного телевидения, безлимитный доступ и др.). Факторы, отражающие уровень конкуренции на национальных рынках, учитывают наличие разной ценовой политики для операторов, доминирующих на рынке (возможность устанавливать свои цены благодаря преимуществам в репутации или нежеланию потребителей нести издержки переключения). Авторами было показано, что скорость загрузки имеет положительное и значимое нелинейное влияние на цены.

В работе Vidal-Abarca и Ruiz [37] проведен анализ диффузии фиксированного и мобильного широкополосного доступа в интернет с помощью кривой Гомпертца по 78 странам за период 1978-2014 гг. В работе предполагалось, что уровень насыщения технологии в стране положительно зависит от размера ВВП на душу населения и плотности населения страны и отрицательно – от неравенства доходов и среднего размера домохозяйств. Предполагалось также, что страны с более высокими уровнем ВВП на душу населения, уровнем образования, средним возрастом и темпами урбанизации будут показывать более высокую скорость диффузии новой технологии. В результате исследования авторами было получено, что уровень доходов на душу населения является важнейшим фактором, определяющим скорость и верхнюю границу распространения фиксированного подключения к интернету. Страны, где размеры домохозяйств составляют 6,5 человек, имеют уровень насыщения технологии в 5%, тогда как в странах, где средний размер домохозяйств составляет 2 человека, этот уровень превышает 21%. Для диффузии мобильного подключения к интернету наиболее значимым фактором является уровень неравенства доходов, определяемый по индексу Джини. Страны с высоким значением индекса Джини, по расчетам авторов, достигнут уровня насыщения около 61% населения, в то время как страны с минимальным индексом Джини (25) – 150%.

4. Моделирование диффузии технологий широкополосного доступа в интернет

Целью данного раздела исследования является моделирование распространения технологий широкополосного доступа в интернет, а также анализ и оценка факторов, влияющих на диффузию этих технологий. Для этого рассматриваются два типа моделей, описывающих процессы диффузии с разных точек зрения. Первый тип – это модели диффузии Гомпертца и Басса, а также их модификации, которые предназначены для оценки тенден-

ций распространения широкополосного доступа в интернет с позиций рынка. Второй тип модели является эконометрической моделью, позволяющей проверить гипотезы о факторах, потенциально влияющих на принятие и распространение технологий широкополосного доступа в интернет, а также получить количественную оценку этого влияния.

В настоящей работе моделирование осуществлялось по данным OECD, включающим показатели 34 стран [26, 27] за период 2000-2015 гг., а в качестве объекта исследования рассматривались технологии фиксированного и мобильного доступа в интернет:

1. Модель Гомпертца. *Кривая в модели Гомпертца не является симметричной относительно точки перегиба и в общем виде описывается следующим уравнением:*

$$\frac{dy(t)}{dt} = k * y(t) * \ln\left(\frac{\alpha}{y(t)}\right) \text{ или} \\ y(t) = \alpha \exp(-\beta e^{-kt}) \quad (1)$$

Эта функция имеет точку перегиба при $t^* = (\ln \beta)/k$, коэффициент α показывает рыночный потенциал технологии.

В случае, когда $y(t) = \text{Fix}_i(t)$ – число пользователей фиксированного доступа в интернет на 100 человек населения в стране i в момент времени t , а $\alpha = \alpha_F$ и $k = k_F$ – оцениваемые параметры кривой для технологии фиксированного доступа в интернет, получаем уравнение вида:

$$\text{Fix}_i(t) = \alpha_F * \text{EXP}(-\beta_F * \exp(-k_F * (t - 1999))) \quad (2)$$

Аналогичное уравнение получается для числа пользователей мобильного доступа в интернет ($y(t) = \text{Mob}_i(t)$):

$$\text{Mob}_i(t) = \alpha_M * \text{EXP}(-\beta_M * \exp(-k_M * (t - 1999))). \quad (3)$$

Полученные по методу Гаусса-Ньютона оценки параметров представлены в табл. 3. Они указывают на значительный отрыв Японии в распространении мобильного подключения к интернету, при этом фиксированное подключение имеет наиболее высокий уровень распространения в ведущих европейских странах и Корее. Для всех групп стран полученные верхние границы распространения мобильного подключения к интернету почти в два раза превышают верхний предел распространения технологии фиксированного подключения.

Кроме того, для всех стран OECD были рассчитаны параметры кривой Гомпертца (1) для мобильного подключения к интернету с учетом начального уровня наблюдений в 2009 г. (т.к. ста-

Таблица 3

Результаты оценки параметров моделей (2) и (3) по панельным данным, включающим 34 страны OECD за 2000-2015 гг. (все оценки параметров имеют p -value < 0,01)

	α_F	β_F	k_F	R^2_F	α_M	β_M	k_M	R^2_M
Все страны	30,9	5,3	0,32	0,82	88,6	1,7	0,39	0,57
Франция	41,5	7,0	0,33	0,99	95,2	1,5	0,22	0,99
Германия	37,5	7,7	0,34	0,99	67,9	4,0	0,58	0,98
Прочие европейские страны OECD	32,2	6,1	0,34	0,86	87,7	1,8	0,40	0,61
США	32,1	3,7	0,29	0,99	122,4	1,4	0,39	0,99
Корея	39,6	1,5	0,24	0,98	105,9	0,4	0,72	0,99
Япония	29,5	4,0	0,32	0,99	140,2	26,2	0,73	0,99

тистика распространения данной технологии ведется только с указанного года):

$$y(t) = y_0 + \alpha \exp(-\beta e^{-k}).$$

В заданной таким образом кривой, где y_0 - начальный уровень наблюдений, величина $y_0 + \alpha$ определяет верхнюю границу кривой (уровень насыщения рынка), время перегиба определяется показателем $t^* = \ln(\beta)/k$, значение в точке перегиба $y(t^*) = y_0 + \alpha/e$. Рассчитанные для стран OECD параметры кривой Гомпертца представлены в табл.4. (все t-статистики оценок параметров имеют p -value < 0.01)

Таким образом, расчеты показали, что верхняя граница распространения технологии мобильного подключения к интернету для ряда стран превышает уровень 100%, время достижения точки перегиба для стран OECD не превышало 5 лет.

Модель Гомпертца с учетом зависимости потенциала рынка (M(t)) технологии фиксированного доступа в интернет от технических и социально-экономических факторов:

$$\frac{dFix_i(t)}{dt} = k * Fix_i(t) * \ln\left(\frac{\alpha * M(t)}{Fix_i(t)}\right), \quad (4)$$

$$M(t) = Pr^{a_1}(t) * Speed^{a_2}(t) * GNI^{a_3}(t)$$

где $Fix_i(t)$ - число пользователей фиксированного доступа в интернет на 100 человек населения в стране i в момент времени t , $Pr_i(t)$ - средняя месячная стоимость фиксированного доступа в интернет по ППП, $Speed_i(t)$ - средняя скорость скачивания информации из интернета по технологиям фиксированного доступа, $GNI_i(t)$ - валовый национальный доход на душу населения в млн. долл. в теку-

щих ценах, α и k - параметры кривой.

Переходя от дифференциальной формы уравнения (4) к разностной:

$$\frac{dy(t)}{dt} = y(t) - y(t-1),$$

где $y(t) = Fix(t)$, и перегруппировав слагаемые, получаем уравнение вида:

$$Fix(t) = \alpha * Pr(t)^{a_1} * Speed(t)^{a_2} * GNI(t)^{a_3} \exp\left(\frac{1}{k} \frac{Fix(t-1)}{Fix(t)} - \frac{1}{k}\right) \quad (5)$$

Полученные оценки параметров модели для всех стран OECD и групп стран, объединенных по региональным признакам, представлены в табл.5.

Расчеты показали отрицательную эластичность количества пользователей фиксированного широкополосного подключения к интернету по стоимости ежемесячной платы за интернет, кроме Японии и Кореи, положительную эластичность по скорости скачивания из интернета и по валовому национальному продукту на душу населения. Наиболее существенно снижает потенциал рынка фиксированного доступа в интернет ежемесячная абонентская плата в США и Канаде, тогда как в Японии и Кореи этот показатель не оказывает отрицательного воздействия. Рост скорости загрузки повышает рыночный потенциал технологии в азиатских и европейских странах, а влияние роста доходов на душу населения наиболее значительно в американских.

Такой способ оценивания позволяет проследить динамику изменения рыночного потенциала технологии в зависимости от изменения социально-экономических показателей.

2. Далее была рассмотрена модель Норто-

Таблица 4

Рассчитанные значения параметров кривой Гомпертца для диффузии мобильного подключения к интернету для стран OECD за период 2009-2015 гг.

Страна	Начальный уровень распространения технологии в $t_0=2009$ г.	Уровень распространения технологии в точке перегиба	Время перегиба ($2008+t^*$)	Уровень насыщения, на 100 человек жителей
Финляндия	79	106.1	3.84	152.6
Япония	74	98.3	4.47	140.2
Новая Зеландия	5.1	48.4	2.62	122.8
Швеция	70	87.4	2.34	117.2
Австралия	13.4	50.3	1.91	113.8
США	46.8	71.1	2.63	112.9
Словакия	18.1	51.6	4.76	109.1
Дания	30.1	59	1.96	108.9
Эстония	4.5	42.4	2.88	107.5
Корея	86.7	93.4	1.79	105.0
Норвегия	69.3	79	3.04	95.6
Ирландия	40	60.4	3.47	95.5
Исландия	31	54.4	2.76	94.6
Великобритания	32.7	52.7	2.65	87.3
Люксембург	22.5	46.1	2.01	86.7
Италия	19.4	42.2	2.81	81.4
Испания	36	51.7	3.09	78.8
Франция	27.2	45.2	3.39	76.3
Нидерланды	3.2	27.6	1.80	69.5
Австрия	21.7	38.8	2.44	68.2
Германия	0.1	25	2.39	67.9
Бельгия	5.9	28.2	3.59	66.7
Чехия	10	30.6	2.59	66
Чили	3.6	25.9	3.90	64.3
Польша	44.5	50.2	2.13	60.1
Мексика	0.2	20.2	3.51	54.5
Турция	3.4	22.2	3.58	54.4
Португалия	21.4	33.5	4.17	54.1
Канада	0.9	20.1	1.75	53.1
Словения	0.1	17.4	1.98	47.3
Греция	12.3	23	1.91	41.3
Венгрия	7.1	17.2	3.02	34.6

Таблица 5

Результаты оценки параметров модели (5) за 2002-2014 гг.

	a_1	a_2	a_3	α	k	R ²	F
Все страны OECD	-0,18	0,07	1,45	2,01	0,56	0,91	98,9
t-статистики	(-6,26)	(2,68)	(7,31)	(8,65)	(11,56)		
Европейские страны	-0,22	0,12	0,74	0,97	0,52	0,91	96,8
t-статистики	(-5,2)	(4,06)	(3,1)	(3,69)	(10,9)		
США, Канада	-0,23	0,04	2,25	0,13	0,77	0,95	75,2
t-статистики	(-3,06)	(0,6)	(3,74)	(2,41)	(2,51)		
Япония, Корея	0,08	0,14	0,34	0,48	0,98	0,98	199,5
t-статистики	(2,41)	(2,63)	(1,46)	(3,17)	(3,13)		

на-Басса [25] с учетом конкурирующих технологий. Оценки и параметры этой модели предоставляют информацию о рынке и описывают процессы диффузии, специфичные для конкретного продукта или технологии на агрегированном уровне в течение длительного периода времени. С ее помощью, как и в случае модели Гомпертца, можно оценить потенциал технологии на рынке, определить скорость диффузии, время достижения пика. Кроме того, модель Нортон-Басса позволяет оценить влияние конкурирующей технологии на рыночные показатели исследуемой технологии. В случае технологий фиксированного и мобильного подключения к интернету имеем систему уравнений следующего вида:

$$\frac{dFix(t)}{dt} = \left(p_F + q_F \frac{Fix(t)}{Market} + q_{FM} \frac{Mob(t)}{Market} \right) (Market - Fix(t)),$$

$$\frac{dMob(t)}{dt} = \left(p_M + q_M \frac{Mob(t)}{Market} + q_{MF} \frac{Fix(t)}{Market} \right) (Market - Mob(t)) \quad (6)$$

где $Fix(t)$ – общее число пользователей фиксированного подключения к интернету в момент времени t на 100 человек населения, $Mob(t)$ – мобильного, p_F и p_M – коэффициенты инновации для фиксированного и мобильного доступа, q_F , q_M , q_{MF} и q_{FM} – коэффициенты имитации для фиксированного, мобильного доступа и взаимного влияния одного на другой, $Market$ – общий размер рынка для обеих технологий.

Сначала были оценены параметры распространения технологий фиксированного и широкополосного подключения без учета конкуренции между ними. Затем была оценена система уравнений (6) с постоянным общим рынком для обеих технологий. Полученные оценки параметров процесса диффузии представлены в табл. 6. Они

свидетельствуют о наличии взаимного влияния технологий друг на друга, причем для фиксированного доступа учет взаимодействия с технологией мобильного снизил рыночный потенциал технологии, а для мобильного – повысил. Необходимо отметить, что статистическая информация по технологиям мобильного широкополосного подключения имеется только с 2009 г., поэтому распространение этих технологий можно оценить только с 2010 г.

Своей наивысшей точки развития технология достигает в момент t^* , который определяется по формуле: $t^* = \frac{\ln(q/p)}{p+q}$. Согласно полученным

оценкам параметров, среднее по странам OECD время достижения пика развития технологий широкополосного подключения составляет 7,9 лет (т.е. технология достигла своего пика в 2008 г. для стран OECD), а мобильного – 4,8 лет (т.е. без учета влияния технологий широкополосного доступа пик распространения мобильного подключения приходился бы на 2015-2016 гг. в среднем по странам OECD). Учет взаимного влияния технологий привел не только к увеличению рыночного потенциала мобильного подключения, но и увеличил время достижения пика обеих технологий.

Оценка общего рынка технологий широкополосного доступа в интернет является достаточно сложной проблемой в связи с тем, что на одного пользователя интернета может приходиться более одного подключения. Если для фиксированного подключения диффузия технологии ограничена числом пользователей интернета или числом домашних хозяйств, имеющих широкополосный доступ, то для мобильного подключения, которое в

Таблица 6

Параметры обобщенной модели Нортон-Басса (6)

Параметры модели	Фиксированный доступ	Мобильный доступ	Фиксированный доступ	Мобильный доступ
Market	42,08	249,80	37,31	274.433
p	0,02	0,04	0,011	0.002
q	0,34	0,48	0,426	0.489
q _{FM}	Нет	Нет	-0,05	1.665

большей степени используют владельцы мобильных телефонов и смартфонов, диффузия технологии еще не достигла стадии насыщения в ряде стран.

3. Анализ диффузии технологий широкополосного подключения к интернету по 34 странам OECD был проведен также с помощью системы уравнений, учитывающих социо-экономические факторы диффузии технологий:

$$\begin{aligned} fix(t) &= c(1) + c(2) * price(t) + c(3) * down(t) + c(4) * gdp(t) + c(5) * i(t) \\ mob(t) &= c(6) + c(7) * drur(t) + c(8) * mobc(t) + c(9) * gni(t) \end{aligned} \quad (7)$$

где $price(t)$ – отношение ежемесячной стоимости фиксированного доступа в интернет к стоимости мобильного (в среднем по стране), $down$ – средняя скорость скачивания данных из интернета по технологии фиксированного доступа, gdp – ВВП на душу населения в постоянных ценах (по данным Worldbank, WB [39]), t_i – инвестиции в телекоммуникации на душу населения, $drur$ – доля сельских жителей в общей численности населения страны, gn_i – ВНП на душу населения (WB), $mobc$ – число пользователей мобильных телефонов на 100 человек жителей «(в системе уравнений используются логарифмы переменных). Оценки параметров системы уравнений (7) за период 2005-2014 гг. представлены в табл. 7.

Так как в большинстве стран OECD отношение цены фиксированного подключения меньше цены мобильного, то оно оказывает меньшее влияние на распространение фиксированного подключения по сравнению со скоростью выгрузки из интернета, которая до сих пор в ряде стран остается существенно выше, чем для мобильного подключения. Кроме того, анализ подтвердил положительную зависимость распространения технологий широкополосного доступа в интернет от среднедушевых доходов населения, отрицательную зависимость диффузии мобильного подключения от доли сельских жителей в общей численности населения и наиболее значимую положительную зависимость числа поль-

зователей мобильного подключения к интернету от числа пользователей мобильных телефонов.

5. Выводы

Несмотря на высокую конкуренцию со стороны мобильного подключения к интернету, технологии фиксированного доступа пока сохраняют свои позиции, прежде всего, в европейских странах, в основном, за счет обеспечения высокой скорости скачивания и загрузки данных при более низкой стоимости ежемесячной абонентской платы, отсутствия лимита на трафик. Спрос на фиксированное широкополосное подключение определяется также более развитым спектром услуг (фиксированное широкополосное подключение часто используют в пакете с кабельным телевидением и мобильным телефоном). Однако рост доходов на душу населения, рост числа мобильных телефонов и смартфонов неизбежно повышает

Таблица 7

Оценки параметров системы уравнений (7)

Параметры модели	Оценка параметра	t-статистика
C(1)	-1,65	-7,82
C(2)	0,08	2,61
C(3)	0,27	15,48
C(4)	0,05	3,64
C(5)	0,42	11,64
C(6)	-6,71	-2,98
C(7)	-0,25	-2,23
C(8)	2,20	4,92
C(9)	0,12	2,36
Determinant residual covariance	0,09	нет

спрос на технологии мобильного подключения, что способствует дальнейшим исследованиям и совершенствованиям этих технологий.

Проведенный в статье анализ показал, что рыночный потенциал технологий фиксированного доступа в интернет снизился из-за конкуренции с технологиями мобильного доступа. Коэффициенты имитации и инновации у этой технологии ниже, чем для мобильного доступа в интернет. Происходит также сокращение времени достижения пика технологиями, особенно это касается ИКТ. Расчеты показали, что распространение технологий мобильного доступа может значительно превысить показатель 100% на 100 человек населения страны (что уже наблюдается в ряде стран).

Литература

1. *Варшавский А.Е.* Научно-технический прогресс в моделях экономического развития. - М.: Финансы и статистика, 1984.
2. *Дубинина М.Г.* Исследование современных подходов к моделированию процессов распространения технологий в наукоемких отраслях // Труды ИСА РАН. - Том 65. - №3. - 2015. С. 43-54.
3. *Кузнецов Ю.А., Маркова С.Е., Мичасова О.В.* Экономико-математическое моделирование динамики смены поколений телекоммуникационных услуг // Финансовая аналитика: Проблемы и решения. - №34. - 2014. - С. 43-55.
4. *Сахал Д.* Технический прогресс: концепции, модели, оценки. - М. Финансы и статистика. 1985.
5. *Bagchi K., Kirs P., Lopez F.* The impact of price decreases on telephone and cell phone diffusion. // Information and Management. - 45. - 2008. - P. 183-193.
6. *Bass F. A.* New Product Growth for Model Consumer Durables // Management Science. 15 (5). 1969. P. 215-227.
7. *Belloc F., Nicita A., Rossi M.A.* Whither policy design for broadband penetration? Evidence from 30 OECD countries // Telecommunications Policy. 36. - 2012. - P. 382-398.
8. *Bouckaert J., van Dijk T., Verboven F.* Access regulation, competition, and broadband penetration: An international study // Telecommunications Policy. - 34. - 2010. - P. 661-671.
9. *Bulte C.* New Product Diffusion Acceleration: Measurement and Analysis // Marketing Science. 19(4). - 2000. - pp.366-380
10. *Calzada J., Martinez-Santos F.* Broadband prices in the European Union: Competition and commercial strategies // Information Economics and Policy. - 27. - 2014. - P. 24-38.
11. *Dauvin M., Grzybowski L.* Estimating broadband diffusion in the EU using NUTS1 regional data // Telecommunications Policy. - 38. - 2014. - P. 96-104.
12. *Fisher J. C., Pry R. H.* A Simple Substitution Model for Technology Change // Technology Forecasting and Social Change. Vol. 2. 1971. pp. 75-88.
13. *García-Murillo M., Rendón J.* A model of wireless broadband diffusion in Latin America // Telematics and Informatics. - 26. - 2009. - P. 259-269.
14. *Gompertz B.* On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies. - Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 115. 1825. - pp. 513-585.
15. *Griliches Z.* Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change // Econometrica. - Vol. 25. - 1957. - P. 501-522.
16. *Grzybowski L.* Fixed-to-mobile substitution in the European Union // Telecommunications Policy. - 38. - 2014. - P. 601-612.
17. *ICT Facts & Figures. 2015.* URL: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2015.pdf> (дата обращения - 18.05.16).
18. *ITU World Telecommunication/ICT Indicators database.* URL: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/default.aspx> (дата обращения - 18.05.16)
19. *Kyriakidou V., Michalakelis C., Spicopoulos T.* Driving factors during the different stages of broadband diffusion: A non-parametric approach // Technological Forecasting & Social Change. - 80. - 2013. - P. 132-147.
20. *Lin M.-S., Wu F.-S.* Identifying the determinants of broadband adoption by diffusion stage in OECD countries // Telecommunications Policy. - 37. - 2013. - P. 241-251.
21. *Linked Data API* URL: http://semantic.digital-agenda-data.eu/data/digital-agenda-scoreboard-key-indicators/h_iacc/all_dch/pc_hh/AT/2008 (дата обращения - 21.05.2016)
22. *Mayer W., Madden G., Jin Z., Tran T.* Modelling OECD broadband subscriptions in disequilibrium // Technological Forecasting & Social Change - 90. - 2015. - P. 476-486.
23. *Meade N., Islam T.* Forecasting in telecommunications and ICT—A review // International Journal of Forecasting. - 31. - 2015. - P. 1105-1126.

24. *Nakamura A.* Mobile and fixed broadband access services substitution in Japan considering new broadband features // *Telecommunications Policy*. – 39. – 2015. – P. 140–154.
25. *Norton, J.A., Bass F.M.* A Diffusion Theory Model of Adoption and Substitution for Successive Generations of High-Technology Products // *Management Science*. - 33 (9). – 1987. – P.1069–1086.
26. *OECD, Broadband Portal* URL:<http://www.oecd.org/sti/broadband/oecdbroadbandportal.htm> (дата обращения - 18.05.16)
27. *OECD Communications Outlook 2003-2015*.
28. *OECD Communications Outlook 2013* - © OECD 2013
29. *OECD Digital Economy Outlook 2015* - © OECD 2015
30. *Pearl R., Reed L.J.* On the Mathematical Theory of Population Growth. // *Metron*. – 3. – 1923. – P. 6 – 19.
31. *Sangwon Lee, Marcu M, Seonmi Lee.* An empirical analysis of fixed and mobile broadband diffusion // *Information Economics and Policy*. – 23. – 2011. P. 227–233.
32. *Sedoyeka E., Hunaiti Z.* Low cost broadband network model using WiMAX technology // *Government Information Quarterly*. - 28. – 2011. – P. 400–408.
33. *Sharif M.N., Ramanathan K.* Binominal innovation diffusion models with dynamic potential adopter population // *Technol.Forecast. Soc. Change*. – 20. – 1981. – P. 63–87.
34. *Srinuan P., Srinuan C., Bohlin E.* Fixed and mobile broadband substitution in Sweden // *Telecommunications Policy*. – 36. – 2012. – P. 237–251.
35. *The Impact of Broadband on the Economy: Research to Date and Policy Issues*. – ITU. - April 2012. – 136 p.
36. *Turk T., Trkman P.* Bass model estimates for broadband diffusion in European countries // *Technological Forecasting & Social Change*. - 79. – 2012. – P. 85–96.
37. *Vidal-Abarca A.O., Ruiz A.U.* Fixed and Mobile broadband adoption rates across the world: Present and Future // *EAGLEs Economic Watch*, 29 Oct 2015, 15 p.
38. *Weibull W. A* Statistical Distribution Function of Wide Applicability // *ASME Journal of Applied Mechanics*. – September 1951. – P.293 – 297.
39. *Worldbank.* Data Indicators. URL: <http://data.worldbank.org/> (дата обращения - 23.05.16).

Дубинина Марина Геннадьевна. Экономист ИСА ФИЦ ИУ РАН, научный сотрудник ЦЭМИ РАН. Окончила в 1986 г. МГУ им. М.В. Ломоносова. Количество печатных работ: 20. Область научных интересов: экономика фирм высокотехнологичных отраслей, технологическое прогнозирование, информационно-коммуникационные технологии. E-mail: mgdub@yandex.ru