

ЛОГИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНОЛОГИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАТРАТ НА НИОКР

Нижегородцев Р. М.¹, Рослякова Н. А.², Горидько Н. П.³
(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Исследование жизненных циклов технологий, их квантификация и определение переломных точек является актуальной научной задачей. Наиболее обоснованной теоретической конструкцией исследования динамики жизненного цикла технология является логистическая кривая. Основой является сопоставление динамических рядов затрат и эффектов и выявление их взаимной связи, допускающей аппроксимацию при помощи логистической кривой. Данная статья посвящена расчету логистических трендов, выражающих связь годовых данных валовой выручки и затрат на НИОКР для компании Яндекс в 2009–2021 гг. На основе аппроксимации, проведенной методами нелинейного регрессионного анализа, рассчитываются значения максимальной интегральной эффективности и максимальной дифференциальной (точечной) эффективности затрат на НИОКР по каждому из рассматриваемых временных промежутков. Исследование логистических трендов и представленные инструментарий и результаты позволяют выявить периоды доминирования той или иной технологической (или организационно-управленческой) парадигмы в жизни определенной высокотехнологичной компании на основе сопоставления совокупной и/или мгновенной эффективности для разных периодов развития компании. Кроме того, предложенные результаты актуальны для оценки перспектив технологических сдвигов в развитии высокотехнологичной компании, а именно, определения уровня технологического или стоимостного верхнего предела, выражаемых верхней горизонтальной асимптотой соответствующей логисты.

Ключевые слова: логистические модели, экономическая эффективность, высокотехнологичные компании, нелинейный регрессионный анализ.

1. Введение

Жизненный цикл технологии можно описать при помощи различных количественных моделей, выражающих связь между затратами и результатами инновационной деятельности. Очень

¹ Роберт Михайлович Нижегородцев, д.э.н. (bell44@rambler.ru).

² Наталья Андреевна Рослякова, к.э.н. (na@roslyakova24.ru).

³ Нина Павловна Горидько, к.э.н. (horidko@mail.ru).

распространенной (можно сказать традиционной) является группа логистических моделей, подразумевающих, что зависимость эффекта от затрат выражается логистической кривой.

При этом характер логистической связи не зависит от того, в каких единицах выражены эффект и затраты: это могут быть стоимостные единицы или натуральные. Кроме того, это могут быть полные, совокупные затраты и эффекты, а могут быть частичные (затраты какого-либо отдельного ресурса, выражаемые не обязательно в денежных единицах, а, например, в человеко-часах или тонно-километрах). Масштабы единиц измерения по координатным осям при этом могут быть совершенно различны, но логистический вид соответствующей зависимости между затратами и эффектом не претерпит изменений [5].

При условии, что затраты и эффект являются количественно измеримыми при помощи статистических наблюдений, составляющих динамические ряды случайных величин, можно построить соответствующие логистические кривые, используя инструмент регрессионных моделей. На основе построенных логистических трендов (при условии, что они выражают статистически значимые связи и все входящие в уравнение регрессоры значимы с надлежащей степенью доверия) можно оценить максимальный уровень совокупной (интегральной) эффективности затрат на рассматриваемом временном промежутке и максимальный уровень мгновенной (краткосрочной, дифференциальной) эффективности на том же промежутке. Таким образом, цель данной статьи заключается в том, чтобы предложить метод трендовой аппроксимации для оценки эффективности затрат на НИОКР и апробировать этот метод на примере одной из высокотехнологичных российских компаний.

2. Постановка задачи

Пусть логистическая кривая выражает связь между затратами и результатами хозяйственной деятельности агента (фирмы) на определенном временном промежутке (рис. 1). В таком случае различные прямые, проходящие через начало координат и пересекающие данную логисту, имеют различные углы наклона к оси

абсцисс. Максимальную интегральную эффективность характеризует касательная q_1 , имеющая максимальный угол наклона α_1 к оси абсцисс, и тангенс этого угла равен максимально возможному значению интегральной эффективности усилий агента на данном периоде времени.

Максимальная мгновенная эффективность достигается в точке, где логистическая кривая растет максимально быстро, – это точка перегиба, корень второй производной соответствующей функции. На рис. 1 этому соответствует точка A_2 . Касательная q_2 к логистической кривой, проходящая через данную точку, наклонена к оси абсцисс под углом α_2 , тангенс которого и равен максимальной мгновенной эффективности усилий агента на данном временном промежутке.

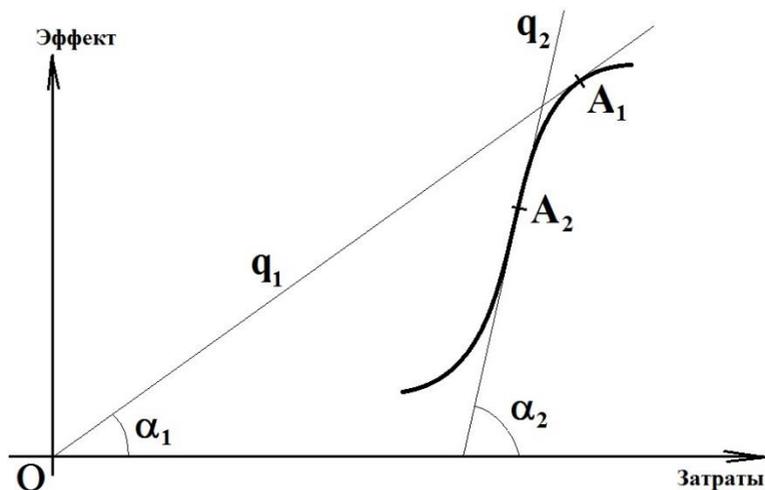


Рис. 1. Интегральная и дифференциальная эффективность инновационных процессов

Если исходить из того, что на рис. 1 представлено стоимостное выражение затрат и эффекта, то положение верхней горизонтальной асимптоты логистической кривой зависит не только от технологических параметров, но и от емкости рынка, на который выносятся инновационный продукт.

3. Аппроксимационные методы оценки эффективности затрат

Высокотехнологичный сектор экономики традиционно характеризуется капиталоемкостью и значительным временным горизонтом, который необходим для реализации инноваций в практической плоскости. Всё это обуславливает существенную неопределённость процесса реализации затрат на НИОКР и ставит вопрос поиска методов оценки их эффективности. На определение этих методов имеют влияние многие характеристики компаний, например, масштаб осуществляемых инвестиций и получаемых результатов. Так, в работах [7, 15] авторы указывают, что крупные высокотехнологичные компании имеют больший потенциал привлечения финансовых и человеческих ресурсов по сравнению с небольшими компаниями. По этой причине малые компании чаще прибегают усилиям по поиску внешних источников открытого доступа для снятия своих ограничений. Однако такие решения далеко не всегда являются наиболее эффективными, что проявляется в недоступности всего необходимого функционала, недостаточной адаптивности под требования и характеристики конкретной компании и пр. Это в свою очередь накладывает ограничения и на достижимые для малых высокотехнологичных компаний параметров эффективности. Помимо этого большое значение имеет и работа в конкретной отрасли или с определённой технологией, что также определяет вариацию в уровне отдачи. Так в работе [14] автор доказывает, что если компания концентрируется на развитии одной инновационной технологии, то использование различных источников затрат ведёт к падению отдачи и эффективности в случае сервисной специализации компании. Для производственных компаний, напротив, если компания концентрируется на развитии одной инновационной технологии, то использование различных источников затрат ведёт к возрастанию отдачи и эффективности, что, вероятно, можно объяснить большей предрасположенностью производственных инноваций к масштабированию и получению соответствующего эффекта.

Наиболее часто такие исследования проводятся на данных отдельных компаний, собранных в массивы на страновом или отраслевом уровне. Примерами таких работ являются [10, 16–17,

19–20]. Традиционной теоретической рамкой таких исследований является анализ жизненных циклов технологий, выраженных через затраты на НИОКР. Трансформируясь в успешные инновации, они увеличивают экономическую отдачу (выручку или прибыль) компании со значительным ускорением, что обычно моделируется через логистическую кривую (S-образную кривую, S-curve) [2, 13, 18]. Она позволяет представить динамику процесса накопления результатов процесса развития инноваций. Однако существенным ограничением всех этих исследований является необходимость набора определённого массива данных.

Во многих случаях подход, связанный с поточечным оцениванием и формированием массива данных, является невозможным. Для высокотехнологичных компаний часто характерно доминирование на рынке, которое выражается через значительный масштаб деятельности, несопоставимый с оборотом ближайших конкурентов, и технологическое превосходство, что не позволяет оценивать другие компании наравне с ними. Примерами таких компаний являются: Яндекс в России, Tencent в Китае, Alphabet, Amazon, Nvidia в США, Samsung в Южной Корее. Традиционным инструментарием работы с такими исследовательскими объектами являются имитационные модели, основанные на симуляционной аппроксимации, реализуемой на базе инструментария DEA (data envelopment analysis, оболочечный анализ данных – анализ среды функционирования), который использует непараметрические методы, позволяющие определить границу эффективных состояний системы (оценка оптимальных уровней для рассматриваемого набора затратных и результирующих параметров), примерами таких работ являются [9, 21]. Альтернативой DEA и наибольшим приближением к предлагаемому нами методическому подходу является параметрический метод оценивания стохастической границы (SFA, stochastic frontier analysis), основывающийся на производственной функции и исходящий из предположения, что случайная ошибка распределена симметрично, а составляющие неэффективного поведения компании распределены несимметрично, примеры работы с использованием данного инструментария [3–4, 8, 12].

Предложенный нами подход оценки эффективности также относится к аппроксимационным, с той разницей, что DEA и SFA

базируются на имитационной аппроксимации, тогда как в нашей работе мы имеем дело с трендовым методом аппроксимации. При этом в отличие от метода SFA, который также относится к параметрическим, где исходные условия задаются случайным образом, предложенный нами подход основывается на предположении об определенном экзогенно задаваемом виде тренда, выражающего связь между затратами и эффектом наукоемких видов деятельности. В соответствии с теорией инноваций, в роли трендов такого рода могут выступать различные виды логистических кривых, параметры которых подлежат количественной оценке на основе регрессионного анализа наблюдаемых рядов статистических данных.

4. Методика расчётов

Аппроксимационный тренд ищется в виде регрессионного уравнения стандартной логистической кривой, при помощи которой традиционно описываются жизненные циклы технологий:

$$(1) \quad y(x) = a + \frac{b}{c + e^{-wx}}.$$

Калибруя данную модель методом наименьших квадратов и находя ее параметры, мы проследим взаимосвязь между расходами на НИОКР и валовой выручкой одной из широко известных высокотехнологичных компаний, а именно – компании Яндекс.

Некоторая смысловая некорректность заключается в том, что рассматриваемая модель улавливает зависимость валовой выручки компании исключительно от объема ее расходов на НИОКР, тогда как на самом деле эта выручка выступает итогом синфазного действия большого числа факторов, не сводимых к затратам на НИОКР. Данная некорректность является в каком-то смысле традиционной для кейнсианской школы, которая рассматривает приращение ВВП макросистемы как прямое следствие прироста инвестиций, тогда как разогрев любой составной части совокупного спроса приводит к росту ВВП, и поэтому каждая часть совокупного спроса имеет собственный мультипликатор, и существуют вполне корректные методики совместного расчета этих мультипликаторов (см., например, [1]).

В то же время отмеченная смысловая некорректность не критична с точки зрения получаемых результатов, поскольку влияние различных факторов, отличных от затрат на НИОКР, может быть учтено в модели (1) в форме констант, причем как аддитивным, так и мультипликативным образом: путем включения в состав параметра a различных факторов, не коллинеарных с динамическим рядом x , и посредством синхронного умножения входящих в данную формулу коэффициентов a и b на один и тот же сомножитель.

4.1. ПОСТРОЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ

Взятая нами в качестве примера компания Яндекс представлена годовыми данными с 2009 по 2021 гг., которые взяты из годовых финансовых отчетов [6] и приведены на основании дефляторов ВВП, представленных на сайте Мирового банка [11], к уровню цен 2021 года (таблица 1).

Таблица 1. Данные о затратах на НИОКР и выручке компании Яндекс в 2009–2021 гг.

Год	Расходы на НИОКР (R&D), млрд. руб. в ценах 2021 г. x	Выручка, млрд. руб. в ценах 2021 г. y
2009	3,299	17,939
2010	4,032	24,001
2011	5,194	33,510
2012	6,822	45,688
2013	8,893	60,561
2014	12,833	74,082
2015	18,570	82,871
2016	21,446	103,023
2017	24,513	122,693
2018	27,208	153,736
2019	34,200	205,437
2020	42,278	254,248
2021	48,500	356,200

В результате график, отображающий взаимосвязь указанных величин, имеет вид, представленный на рис. 2.



Рис. 2. Соотношение расходов на НИОКР и выручки компании Яндекс, 2009–2021 гг.

На показанном выше рисунке мы предполагаем наличие двух разных логистических кривых: одна – с 2009 по 2015 гг., а вторая – примерно с 2014 по 2020 гг. Точка, соответствующая 2021 году, скорее всего, является началом следующей логисты.

Исходя из этих предположений и пользуясь инструментами ППП Statistica, мы построили два разных логистических тренда и, соответственно, нашли значения переменных формулы (1). При этом количество наблюдений в каждой из кусочных выборок небольшое и не позволяет эффективно (т.е. с минимальной вероятностью ошибки – ее показывает уровень p -level) определить значение всех четырех параметров. Так, для периода 2009–2015 гг. с помощью пользовательской функции нелинейного оценивания в Statistica мы получили вырожденную функцию. Поэтому некоторые значения коэффициентов мы подобрали путем предварительного анализа эмпирических данных; так, с целью сокращения числа оцениваемых параметров была предварительно построена линейная функция:

$$(2) \quad y(x) = 11,472 + 4,332x.$$

Она указывает на возможность оценки параметров линейной связи между расходами на НИОКР и выручкой компании Яндекс, причем, исходя из значения коэффициента детерминации, 91% изменения выручки объясняется вариацией расходов на НИОКР. Полученная модель адекватно описывает исходные данные, и ее параметры значимы: регрессор – на уровне значимости 0,01,

а свободный член – на уровне значимости 0,15. Тем не менее именно свободный член нас интересует как точка пересечения аппроксимирующей функции с осью ординат, в нашем случае – это параметр a из формулы (1). Остальные коэффициенты регрессии определяются с помощью нелинейной функции методом Гаусса – Ньютона; после 42 итераций получена следующая формула:

$$(3) \quad y(x) = 11,472 + \frac{2,24}{0,032 + e^{-0,489x}}$$

Для нее $R^2 = 99,85\%$, F -критерий значим на уровне значимости 0,01, все параметры значимы на уровне погрешности 0,05 (см. таблицу 2).

Таблица 2. Статистические характеристики модели (2)

Модель: $y = 11,472 + b/(c + \exp((-w*x)))$						
Уровень значимости: 95,0%						
	Оценка	Стандарт ошибка	t -знач. $cc = 4$	p -знач.	Ниж. дов. предел	Верх. дов. предел
b	2,24023	0,758369	2,954014	0,041802	0,134663	4,345802
c	0,03236	0,010558	3,064661	0,037488	0,003043	0,061669
w	0,48926	0,054305	9,009560	0,000840	0,338489	0,640039

Логистическая кривая, выражаемая уравнением (3), изображена на рис. 3.

Предполагая, что в период 2014–2015 гг. произошел переход на другую логистическую кривую, построим следующую логисту по наблюдениям с 2014 г., при этом попытка включить в данную выборку наблюдение за 2021 г. успеха не имела: параметры такой модели оказались незначимыми, и это косвенно подтверждает предположение о дальнейшем технологическом сдвиге: о том, что наблюдения за 2019–2021 годы характеризуют начало новой, следующей логистической кривой.

Итак, логистическая функция вида (1) по данным 2014–2020 гг., построенная с помощью нелинейной функции методом Гаусса – Ньютона, в результате 25 итераций имеет вид

$$(4) \quad y(x) = 58,806 + \frac{1,38}{0,006 + e^{-0,173x}}$$

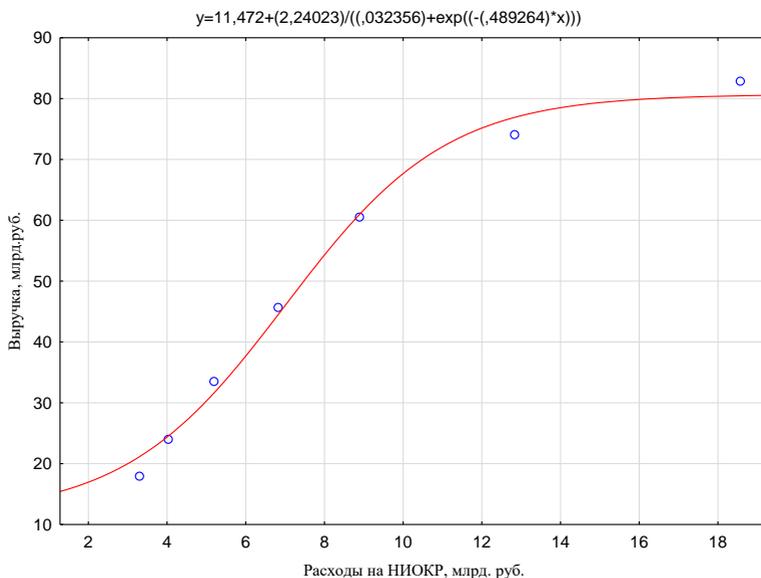


Рис. 3. График функции (3), 2009–2015 гг.

Анализируя значимость ее параметров, мы пришли к выводу, что коэффициенты a и w значимы на уровне значимости 0,05, b и c оказались незначимыми. Соответственно, мы попробовали зафиксировать параметр a таким же образом, как и для первой серии наблюдений, вследствие чего получили модель

$$(5) \quad y(x) = 58,81 + \frac{1,381}{0,006 + e^{-0,172x}}$$

Как видим, по сравнению с формулой (4) в функции (5) немного уточнены коэффициенты регрессии (впрочем, крайне незначительно), а сама она характеризуется высокой объясняющей способностью ($R^2 = 99,94\%$), адекватна исходным данным, и ее параметры значимы как минимум на уровне погрешности 0,1, см. таблицу 3.

График функции (5) представлен на рис. 4.

Если наложить два построенных логистических тренда на один график, получим изображение, представленное на рис. 5.

Таблица 3. Статистические характеристики модели (5)

Модель: $y = 58,81 + b / (c + \exp((-w*x)))$						
Уровень значимости: 95,0%						
	Оценка	Стандарт ошибка	t -знач. $ss=4$	p -знач.	Ниж. дов. предел	Верх. дов. предел
b	1,380780	0,517163	2,66991	0,055811	-0,05509	2,816655
c	0,006432	0,002183	2,94714	0,042089	0,00037	0,012492
w	0,172494	0,015428	11,18062	0,000364	0,12966	0,215329

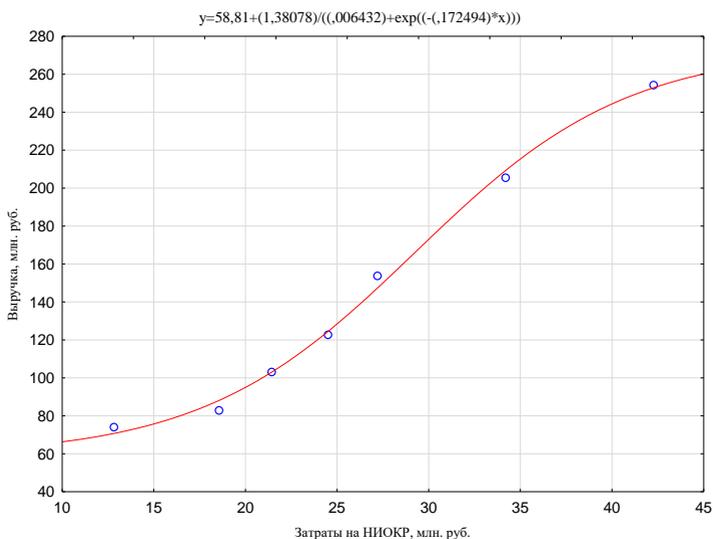


Рис. 4. График функции (5), 2014–2020 гг.

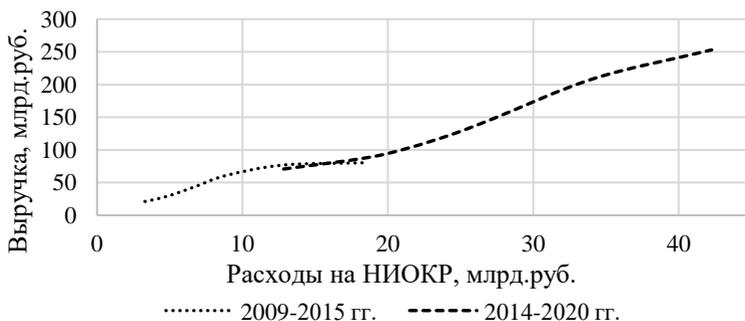


Рис. 5. Логистические кривые соотношения затрат на НИОКР и выручки компании Яндекс, 2009–2020 гг.

4.2. ПОСТРОЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ

На следующем этапе нами была поставлена задача поиска параметров дифференциальной и интегральной эффективности инновационных процессов, в соответствии с логикой рис. 1.

Поскольку линия q_1 на рис. 1 представляет собой прямую, проходящую через начало координат, то в ее уравнении свободный член равен нулю. Ее вид представлен в правой части первого равенства в системе уравнений (6). Первая производная будет представлять моментное изменение функции, описывающей прямую q_1 (второе равенство в системе уравнений (6)):

$$(6) \quad \begin{cases} y(x) = a + \frac{b}{c+e^{(-\omega x)}} = k_1 x, \\ y'(x) = \frac{\omega b e^{-\omega x}}{(c+e^{-\omega x})^2} = k_1. \end{cases}$$

Решив систему уравнений, мы получаем параметр k_1 , который представляет собой коэффициент максимальной совокупной эффективности инвестиций в НИОКР за рассматриваемый период. Для каждого логистического тренда имеются две касательные, проходящие через начало координат: одна касается логисты в верхней ее части и характеризуется максимальным значением угла наклона α_1 (см. рис. 1), другая касается той же логисты в ее нижней части и характеризуется минимальным значением угла наклона к оси абсцисс.

Таким образом, решив систему уравнений (6) методом приближенных вычислений для двух построенных логистических трендов (2009–2015 гг. и 2014–2020 гг.), мы получаем по два значения каждого параметра (таблица 4), одно из которых представляет точку минимума функции совокупной эффективности, другое – точку ее максимума.

Таблица 4. Результаты решения системы уравнений (6) для компании Яндекс

Решение системы уравнений (6) для компании Яндекс в 2009–2015 гг.		Решение системы уравнений (6) для компании Яндекс в 2014–2020 гг.	
$k_1 = 6,030$	$k_1 = 6,857$	$k_1 = 4,740$	$k_1 = 6,183$
$x = 4,562$	$x = \mathbf{8,924}$	$x = 19,232$	$x = \mathbf{36,872}$
$y = 27,512$	$y = \mathbf{61,192}$	$y = 91,155$	$y = \mathbf{227,990}$
$k_1 = 6,030$	$k_1 = 6,857$	$k_1 = 4,740$	$k_1 = 6,183$

Тем самым интегральная эффективность затрат на НИОКР за период 2009–2015 гг. колеблется в пределах 6,03–6,86, а за период 2014–2020 гг. – в пределах 4,74–6,18. Координаты точек, соответствующих максимальной интегральной эффективности затрат на НИОКР за рассматриваемые периоды, выделены полужирным шрифтом в таблице 4.

Уравнение касательной к логистическому тренду, построенному по данным периода 2009–2015 гг., с максимальным углом наклона к оси абсцисс, таково: $y = 6,857x$.

Уравнение касательной к логистическому тренду, построенному по данным периода 2014–2020 гг., с максимальным углом наклона к оси абсцисс, таково: $y = 6,183x$.

4.3. РАСЧЕТ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Для получения параметров дифференциальной эффективности необходимо перейти к решению системы уравнений со второй производной, а именно:

$$(7) \begin{cases} y(x) = a + \frac{b}{c+e^{-\omega x}} = k_2 x + p, \\ y'(x) = \frac{\omega b e^{-\omega x}}{(c+e^{-\omega x})^2} = k_2, \\ y''(x) = \frac{-b\omega^2 e^{-\omega x} + \frac{2b\omega^2 e^{-\omega x}}{c+e^{-\omega x}}}{(c+e^{-\omega x})^2} = 0. \end{cases}$$

Решив систему уравнений, мы получаем параметр k_2 , который представляет собой коэффициент максимальной (за рассматриваемый период) дифференциальной эффективности, а x характеризует объем затрат на НИОКР, при котором достигается максимальная скорость получения результата (т.е. максимально быстрый прирост выручки y).

Решив систему уравнений (7) методом приближенных вычислений для двух найденных логистических трендов (2009–2015 гг. и 2014–2020 гг.), мы получаем следующие значения каждого параметра (таблица 5).

Таблица 5. Результаты решения системы уравнений (7) для компании Яндекс

Решение системы уравнений (7) для компании Яндекс в 2009–2015 гг.	Решение системы уравнений (7) для компании Яндекс в 2014–2020 гг.
$k_2 = 7,528$	$k_2 = 8,229$
$p = -5,824$	$p = -71,882$
$x = 8,429$	$x = 33,274$
$y = 57,630$	$y = 201,928$

Уравнение прямой, касающейся логистической кривой, построенной по данным периода 2009–2015 гг., в точке ее перегиба, таково: $y = 7,528x - 5,824$.

Уравнение прямой, касающейся логистической кривой, построенной по данным периода 2014–2020 гг., в точке ее перегиба, таково: $y = 8,229x - 71,882$.

5. Заключение: выводы и обсуждение результатов

Еще раз подчеркнем, что найденные коэффициенты k_1 и k_2 представляют собой тангенсы углов соответственно α_1 и α_2 на рис. 1. Чем более пологим является логистический тренд в фазе своего максимально быстрого роста, тем меньше количественное различие между максимальной мгновенной эффективностью, достигаемой на соответствующем промежутке времени, и максимальной совокупной эффективностью на том же промежутке.

Итак, для временного периода 2009–2015 гг. значение максимальной интегральной эффективности затрат на НИОКР для компании Яндекс составило 6,86 и было достигнуто в 2013 году (этот факт вытекает из годовых значений динамического ряда x , приведенных в таблице 1), значение максимальной мгновенной эффективности затрат на НИОКР составило 7,53 и приходилось на промежуток 2012–2013 гг.

Для временного периода 2014–2020 гг. значение максимальной интегральной эффективности затрат на НИОКР составило 6,18 и приходилось на 2019–2020 гг., значение максимальной мгновенной эффективности составило 8,23 и приходилось на промежуток 2018–2019 гг.

Для того чтобы просто оценить операционную эффективность (отдачу от затрат определенного вида) той или иной компании и выявить, в какие годы она была выше или ниже, никакие трендовые модели (логистические в том числе), собственно, не нужны. Достаточно подготовить годовые данные затрат и эффекта, приведенные к сопоставимым ценам одного и того же года, и разделить эффект на затраты – получаем динамический ряд показателя, характеризующего интегральную эффективность усилий компании в том или ином направлении, по которому рассматриваются затраты. Решая ту же задачу в годовых приращениях, получаем динамический ряд показателя дифференциальной (точечной, мгновенной) эффективности действий этой компании.

Логистические тренды нужны для того, чтобы выявить периоды доминирования той или иной технологической (или организационно-управленческой) парадигмы в жизни определенной высокотехнологичной компании и иметь возможность сопоставлять между собой соответствующие временные промежутки, находя в рамках каждого из них точки максимальной за данный период совокупной и/или мгновенной эффективности.

Кроме того, применение поточечных методов оценки оправдано в тех случаях, когда заведомо можно абстрагироваться от наличия ошибок измерений и вычислений в динамических рядах статистических наблюдений. В задачах экономического анализа это чаще всего не так. Трендовые методы оценки хороши, в частности, тем, что они содержат инструмент сглаживания выбросов различного происхождения и потому позволяют получить надежную оценку как средней, так и предельной эффективности затрат.

Логистические модели позволяют также оценить перспективы технологических сдвигов в развитии определенной высокотехнологичной компании, в том числе высоту технологических либо стоимостных верхних пределов, выражаемых верхней горизонтальной асимптотой соответствующей логисты. Построив логистический тренд по первым нескольким точкам, можно также спрогнозировать максимально возможную интегральную и мгновенную отдачу, которой исследуемая компания вправе ожидать от внедрения соответствующей технологии.

Для других компаний эффективность внедрения той же самой технологии может оказаться совершенно иной. Это зависит, в частности, от того, в какой мере оргструктура конкретной компании и существующие в ней алгоритмы принятия решений способны выступить проводниками возможностей, предоставляемых наличием данной технологии.

Литература

1. ГОРИДЬКО Н.П., НИЖЕГОРОДЦЕВ Р.М. *Регрессионная оценка мультипликаторов совокупного спроса по агрегатам* // Анализ, моделирование, управление, развитие социально-экономических систем: Сб. науч. трудов XIV Всеросс. с междунар. уч-ем шк.-симп. АМУР-2020. – Симферополь, 2020. – С. 109–110.
2. ДХАКАЛ Т., МИН К.С. *Макроанализ и прогноз перспектив распространения электромобилей* // Форсайт – 2021. – Т. 15, №1. – С. 67–73.
3. ИЛБИНА Е.А., САРАЕВ Л.А. *Стохастические модели динамики максимальной и оптимальной прибыли производственного предприятия, внедряющего технологические инновации* // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. – 2023. – Т. 14, №2. – С. 197–213.
4. ИПАТОВА И.Б., ПЕРЕСЕЦКИЙ А.А. *Техническая эффективность предприятий отрасли производства резиновых и пластмассовых изделий* // Прикладная эконометрика. – 2013. – Т. 32, №4. – С. 71–92.
5. НИЖЕГОРОДЦЕВ Р.М. *Экономика инноваций: Учебное пособие*. – М.: РУСАЙНС, 2016. – 154 с.
6. *Яндекс: годовые финансовые отчеты* / Смартлаб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://smartlab.ru/q/YNDX/f/y/GAAP/>.
7. D'ANGELO A., BARONCELLI A. *An Investigation Over Inbound Open Innovation in SMEs: Insights from an Italian Manufacturing Sample* // Technology Analysis & Strategic Management. – 2020. – Vol. 32, No. 5. – P. 542–560.

8. DOAN A.-T., KHAN A., HOLMES S., TRAN T. *SMEs' efficiency in a transitional economy: does innovation and public support schemes matter?* // Journal of the Asia Pacific Economy. – 2023. – Vol. 28, No. 3. – P. 1029–1060.
9. DOBRZANSKI P. *The efficiency of spending on R&D in Latin America region* // Applied Economics. – 2020. – Vol. 52, No. 46. – P. 5020–5034.
10. FORÉS B., CAMISÓN C. *Does Incremental and Radical Innovation Performance Depend on Different Types of Knowledge Accumulation Capabilities and Organizational Size?* // Journal of Business Research. – 2016. – Vol. 69. – P. 831–848.
11. *Indicators* / WorldBank. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.DEFL.KD.ZG?end=2021&name_desc=true&start=2000&view=map&year=1961.
12. KIM K., LEE J., LEE C. *Which innovation type is better for production efficiency? A comparison between product/service, process, organisational and marketing innovations using stochastic frontier and meta-frontier analysis* // Technology Analysis & Strategic Management. – 2023. – Vol. 35, No. 1. – P. 59–72.
13. MIAMO C.W., BERTIN C.P.K. *The effect of external knowledge on innovation capacity of SMES: Does the source of knowledge matter?* // African Journal of Science, Technology, Innovation and Development. – 2022. – Vol. 14, No. 6. – P. 1655–1666.
14. RADICIC D. *Breadth of external knowledge search in service sectors* // Business Process Management Journal. – 2021. – Vol. 27, No. 1. – P. 230–252.
15. RADICIC D., ALKARAAN F. *Relative effectiveness of open innovation strategies in single and complex SME innovators* // Technology Analysis & Strategic Management. – 2022. – DOI: 10.1080/09537325.2022.2130042.
16. RODRÍGUEZ-POSE A., DI CATALDO M. *Quality of Government and Innovative Performance in the Regions of Europe* // Journal of Economic Geography. – 2015. – Vol. 15, No. 4. – P. 673–706.
17. SERRANO-BEDIA A.M., LÓPEZ-FERNÁNDEZ M., GARCÍA-PIQUERES G. *Complementarity between innovation knowledge sources: Does the innovation performance measure*

- matter?* // BRQ Business Research Quarterly. – 2018. – Vol. 21, No. 1. – P. 53–67.
18. UGUR M., VIVARELLI M. *Innovation, firm survival and productivity: the state of the art* // Economics of Innovation and New Technology. – 2021. – Vol. 30, No. 5. – P. 433–467.
 19. WANG P., CEN C. *Does digital economy development promote innovation efficiency? A spatial econometric approach for Chinese regions* // Technology Analysis & Strategic Management. – 2022. – DOI: 10.1080/09537325.2022.2065980.
 20. YEH M.-L., CHU H.-P., SHER P. J., CHIU Y.-C. *R&D intensity, firm performance and the identification of the threshold: fresh evidence from the panel threshold regression model* // Applied Economics. – 2010. – Vol. 42, No. 3. – P. 389–401.
 21. ZHU Y., WANG Z., YANG J., ZHANG ZH. *Evaluating performance of innovation resource allocation in industrial enterprises: an improved two-stage DEA model* // Technology Analysis & Strategic Management. – 2022. – DOI: 10.1080/09537325.2022.2157254.

LOGISTIC MODELS OF THE TECHNOLOGY LIFE CYCLE AS A TOOL FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF R&D EXPENDITURES FOR KNOWLEDGE INTENSIVE COMPANIES

Robert Nizhegorodtsev, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, professor (bell44@rambler.ru).

Natalia Roslyakova, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc. (na@roslyakova24.ru).

Nina Goridko, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc. (horidko@mail.ru).

Abstract: The study of the life cycles of technologies, their quantifications and the definition of breakpoints is an urgent scientific task. The most well-founded theoretical construction of the technology life cycle dynamics study is the logistic curve. The basis is a comparison of the dynamic series of costs and effects. The paper deals with the calculation of logistics trends expressing the relationship between annual data of gross revenue (effects) and R&D expenditures for Yandex in 2009-2021 (costs). Based on the approximation carried out by methods of nonlinear regression analysis, the values of maximum integral efficiency and maximum differential (point) efficiency

of R&D expenditures for each of the considered time intervals are calculated. The study of logistics trends and the presented tools and results allow us to reveal the periods of dominance of one or another technological (or organizational and managerial) paradigm in the life of a certain high-tech company based on a comparison of aggregate and/or instantaneous efficiency for different periods of the company's development. In addition, the proposed results are relevant for assessing the prospects of technological shifts in the development of a high-tech company, namely, determining the level of technological or cost upper limit, expressed by the upper horizontal asymptote of the corresponding logistics.

Keywords: logistics models, economic efficiency, knowledge intensive companies, nonlinear regression analysis.

УДК 330.341 + 330.43

ББК 65.011.4

DOI: 10.25728/ubs.2024.108.8

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии В.В. Ключковым.*

Поступила в редакцию 27.10.2023.

Опубликована 31.03.2024.