

Нечеткая регрессионная модель влияния технологий на уровень жизни

Ю.А. Зеленков 

E-mail: yzelenkov@hse.ru

Е.В. Лашкевич

E-mail: evlashkevich@edu.hse.ru

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Адрес: 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

Аннотация

В работе предлагается модель влияния технологий на уровень жизни в стране на основе нечеткой линейной регрессии. В качестве зависимой переменной выбран индекс человеческого развития (Human Development Index, HDI), как индикатор здоровья и уровня благосостояния населения. В качестве объясняющих переменных используются индекс сетевой готовности (Network Readiness Index, NRI), оценивающий влияние информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) на общество и развитие нации, и глобальный индекс инноваций (Global Innovation Index, GIИ), измеряющий движущие силы экономического роста. Анализ проводится на основе данных за 2019 год по четырем группам стран, различающихся по уровню дохода на душу населения. Для развитых стран подтверждено положительное и сбалансированное влияние инноваций и ИКТ на уровень жизни. Для двух групп развивающихся стран (с доходом выше и ниже среднего) обнаружено, что коэффициент при GIИ имеет отрицательное значение. Более глубокий анализ показал, что это связано с состоянием политических и общественных институтов. Данный факт означает, что без одновременного повышения зрелости институтов стимулирование других направлений инновационного развития (образование, знания и технологии, инфраструктура) ведет к снижению качества жизни.

Ключевые слова: уровень жизни; техническое развитие; нечеткая регрессия; количественная модель.

Цитирование: Зеленков Ю.А., Лашкевич Е.В. Нечеткая регрессионная модель влияния технологий на уровень жизни // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 3. С. 67–81. DOI: [10.17323/2587-814X.2020.3.67.81](https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.3.67.81)

Введение

Большинство стран декларирует, что высшей ценностью является человек, его права и свободы (см., например, Статью 2 Конституции Российской Федерации). Поэтому многие современные политики и исследователи полагают, что основная цель государства – максимальное благополучие граждан, индикаторами которого являются качество жизни, равный доступ к услугам, возможность самореализации, участие в принятии решений и т.д. [1, 2]. Одним из катализаторов, способствующих благополучию наряду с политическими и социальными институтами, является технический прогресс [3]. Поэтому важно понимать, как использование технологий связано с уровнем жизни и человеческим развитием.

Цель данной работы – построить количественные модели влияния технологий на благополучие граждан различных стран. Особое внимание мы уделяем современным цифровым технологиям, использование которых, по мнению многих практиков и исследователей, ведет к очередной промышленной революции, что кардинально изменит как государственные и социальные структуры, так и индивидуальные модели поведения [4]. Поэтому в качестве исследуемого показателя мы выбрали индекс человеческого развития (Human Development Index, HDI¹), а в качестве объясняющих переменных – индекс сетевой готовности (Network Readiness Index, NRI²) и глобальный индекс инноваций (Global Innovation Index, GII³). Исследование проводилось на данных за 2019 год.

Кроме того, мы полагаем, что влияние технологий на благополучие различно для развитых и развивающихся стран [5, 6]. Для выделения групп стран мы использовали подход Всемирного банка на основе ВВП на душу населения [7], чтобы разделить исследуемые государства на четыре группы.

Полученные результаты подтверждают положительное и сбалансированное влияние инноваций и информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) на уровень жизни для развитых стран. Для двух групп развивающихся стран (с доходом выше и ниже среднего) обнаружено, что коэффициент при GII имеет отрицательное значение. Более глубокий анализ показал, что это связано с состо-

янием политических и общественных институтов. Данный факт означает, что без одновременного повышения зрелости институтов стимулирование других направлений инновационного развития (образование, знания и технологии, инфраструктура) ведет к снижению уровня жизни.

1. Обзор литературы

Большинство исследователей, изучавших влияние ИКТ на уровне различных стран, концентрировались на увеличении производительности, измеряемой через ВВП. Многие эмпирические работы доказали, что инвестиции в ИКТ ведут к росту ВВП в развитых странах [5], причем эффект от ИКТ опережает по темпам эффект от других технологий [8]. Однако подобная положительная связь между ИКТ и ВВП не была обнаружена в развивающихся странах. Авторы работы [5] объясняют это недостатком соответствующих комплементарных ресурсов и технологий, которые должны дополнять ИКТ для обеспечения устойчивого роста.

Более поздние исследования [6, 9] показали, что влияние ИКТ не ограничивается только ростом производительности (т.е. ВВП). Напротив, использование ИКТ также улучшает благосостояние страны, помогая гражданам развивать свой социальный капитал и достигать социального равенства, а также обеспечивает всем группам населения равный доступ к медицинским услугам и образованию. Кроме того, в отчете [10] утверждается, что сетевая среда, упрощающая разработку и продажу услуг, может привести к созданию 140 миллионов новых рабочих мест и вывести 160 миллионов человек из бедности.

Однако не все страны с похожей структурой ИКТ (соотношение стационарных и мобильных телефонов, доступ к сети интернет и т.д.) повышают свой уровень благополучия одинаковым образом [6]. Это можно объяснить влиянием таких факторов, как политические и социальные особенности, уровень доверия, развитость законодательной и регулятивной базы.

Таким образом, необходимы дополнительные исследования влияния ИКТ на уровень жизни. Поэтому в данной работе мы предлагаем модель влияния инноваций (измеряемых через глобальный индекс инноваций, GII) и, в том числе, ИКТ (ин-

¹ <http://hdr.undp.org>

² <https://networkreadinessindex.org>

³ <https://www.globalinnovationindex.org>

декс сетевой готовности, NRI) на развитие нации (индекс человеческого развития, HDI).

Индекс человеческого развития (HDI) – это статистический инструмент, интегрирующий три ключевых аспекта: здоровье и продолжительность жизни, доступный уровень образования и уровень жизни. HDI вычисляется как геометрическое среднее нормализованных индексов по этим трем измерениям [11]. HDI публикуется в рамках Программы развития ООН с 1990 года [12] и является стандартным инструментом при сравнении уровня жизни различных стран. В зависимости от значения HDI страны принято классифицировать по уровню развития: очень высокий, высокий, средний и низкий уровни.

HDI также может рассматриваться как косвенный показатель зрелости социальных институтов, поскольку именно они способствуют развитию человека [13]. Наряду с важной инструментальной ролью в создании и укреплении определенных способностей, социальные институты помогают формировать индивидуальные предпочтения и поведение, поскольку нельзя считать, что люди полностью автономны. Кроме того, отношения между людьми и институтами определяют, является ли общество мирным, сплоченным и инклюзивным.

Индекс сетевой готовности (NRI) представляет собой целостную структуру, позволяющую оценить многогранное воздействие информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) на общество и развитие нации [14]. NRI определяет три ключевые заинтересованные стороны для ИКТ: отдельные лица / общество, предприятия и правительства и содержит элементы, описывающие применение ИКТ в национальных экономиках, включая, например, качество нормативных актов.

NRI публикуется Всемирным экономическим форумом совместно со Всемирным банком, бизнес-школой INSEAD и Корнельским университетом. В 2019 году модель индекса была пересмотрена и сегодня он включает четыре основных измерения (технологии, люди, правительство и влияние), каждое из которых является комбинацией трех субиндексов [14].

Однако, изучая влияние технологий на благополучие наций, было бы нелогично ограничиваться только рассмотрением ИКТ, поскольку значительные успехи наблюдаются и в других отраслях – медицине, сельском хозяйстве, космических исследо-

ваниях и т.д. Поэтому мы включили в нашу модель Глобальный индекс инноваций (ГИ), который формируется на основании обширной базы данных подробных показателей для экономик разных стран [15]. ГИ публикуется Корнельским университетом, INSEAD и Всемирной организацией интеллектуальной собственности (специализированное учреждение ООН).

Признавая ключевую роль инноваций как движущей силы экономического роста и процветания, ГИ включает показатели, которые выходят за рамки традиционных мер инноваций, таких как уровень исследований и развитие. ГИ опирается на два субиндекса – Innovation Input Sub-Index и Innovation Output Sub-Index, каждый из которых построен на основе семи ключевых элементов. Пять элементов описывают характеристики национальной экономики, которые обеспечивают инновационную деятельность: (1) институты, (2) человеческий капитал и исследования, (3) инфраструктура, (4) зрелость рынка и (5) зрелость бизнеса. Два элемента отражают фактические результаты инноваций: (6) знания и технологии и (7) творческие результаты. При вычислении этих индексов используется 80 различных показателей.

2. Модель, данные и метод исследования

Наше исследование базируется на следующей гипотезе: национальная инновационная система (измеряемая через ГИ) и развитие ИКТ в стране (измеряемое через NRI) положительно влияют на уровень благосостояния граждан (измеряемый через HDI), но это влияние различно для групп стран, различающихся по размеру ВВП на душу населения.

На *рисунке 1* представлена модель исследования, где показаны индексы, их измерения и связи между индексами, которые являются предметом эмпирического изучения.

Необходимые данные были загружены из источников, представленных во Введении. Для исследования мы использовали последние актуальные на сегодняшний день значения индексов, опубликованные в 2019 году, общая выборка содержит данные для 112 стран. Кроме значений перечисленных индексов в выборку также было включено значение ВВП на душу населения (GDP per capita), полученное с сайта Всемирного банка⁴. В *таблице 1*

⁴ <https://databank.worldbank.org/home.aspx>

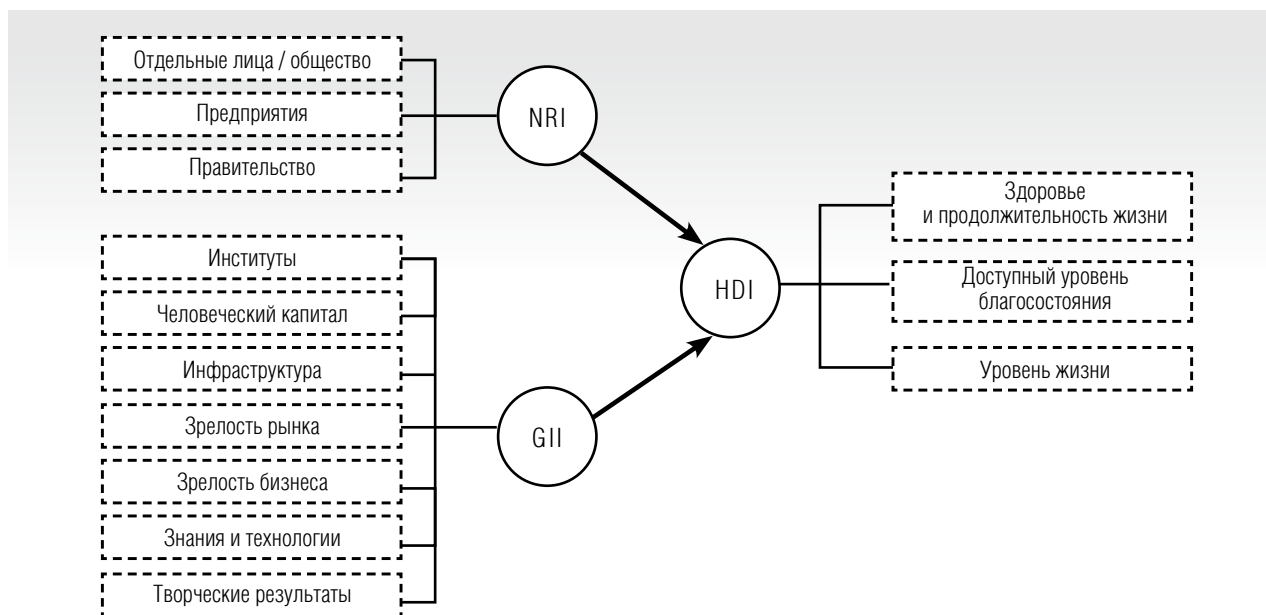


Рис. 1. Модель исследования

Таблица 1.

Описательная статистика индексов

Переменная	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее	Стандартное отклонение	Медиана	Кoeffициент асимметрии	Кoeffициент эксцесса
HDI	0,43	0,95	0,76	0,13	0,79	-0,65	-0,46
GII	20,40	67,20	37,56	11,70	34,45	0,68	-0,65
NRI	22,07	82,65	52,47	16,54	51,17	0,10	-0,91

представлены статистические характеристики индексов, а на рисунке 2 – исследование их взаимной корреляции. В диагональных элементах матрицы на рисунке 2 представлены распределения соответствующих величин, в ячейках выше диагонали – коэффициенты парной корреляции, в ячейках ниже диагонали – диаграммы рассеяния.

Как следует из рисунка 2, все переменные сильно связаны между собой, коэффициент корреляции R^2 не меньше 0,7, а в некоторых случаях даже близок к единице. Диаграммы рассеяния показывают, что индексы GII и NRI существенно коррелируют с HDI, значение R^2 более 0,8. Однако между GII и NRI также наблюдается сильная парная корреляция, что потенциально ведет к нестрогой мультиколлинеарности.

По значению переменной “GDP per capita” все 112 стран были разделены на четыре группы (таблица 2) в соответствии с классификацией Всемирного банка [7], которая используется при составлении индекса GII. На рисунке 3 представлено распределе-

ние HDI для выделенных групп стран: видно, что они различаются, и статистическая значимость этих различий подтверждается результатами дисперсионного анализа.

Наиболее широко распространенным методом статистического моделирования зависимостей между переменными является линейный регрессионный анализ, однако в нашем случае имеются проблемы, препятствующие его применению. Как уже отмечалось, это мультиколлинеарность, а также малый размер выборок по каждой группе исследуемых стран. Поэтому мы используем нечеткую регрессию.

При моделировании зависимостей, неопределенность которых обусловлена небольшим объемом данных, ошибками или большой погрешностью измерений, необъективными оценками и другими проявлениями человеческого фактора, мы имеем дело с нечеткой структурой рассматриваемых систем. В статистической регрессионной модели отклонения между наблюдаемыми значениями и

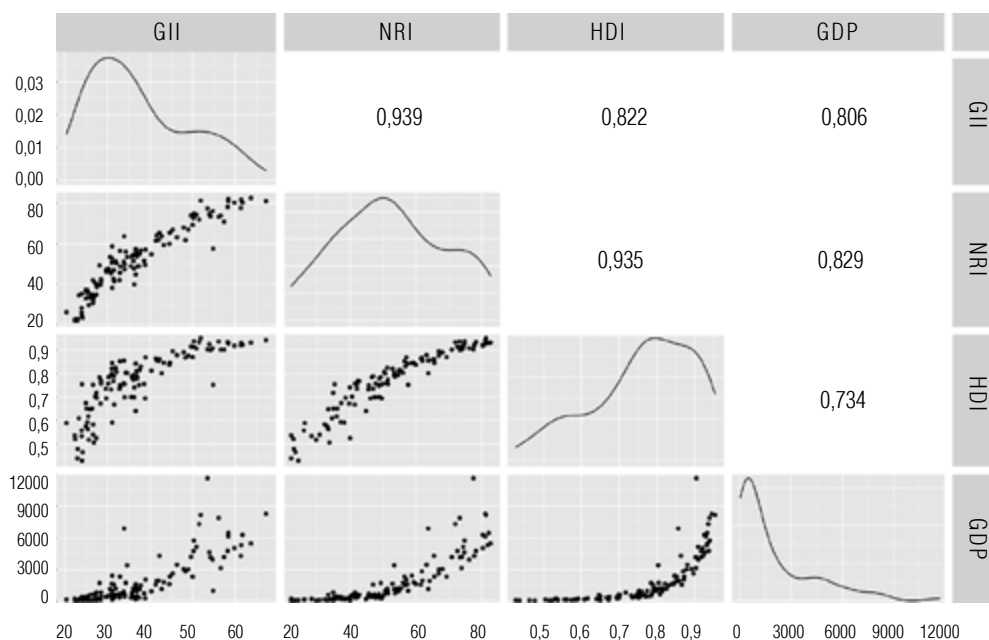


Рис. 2. Корреляция переменных

Таблица 2.

Разделение стран на группы по значению ВВП на душу населения

Категория	Подкатегория	Минимальное значение GDP per capita (USD)	Максимальное значение GDP per capita (USD)	Количество стран в группе
Развитые	Развитые	12 235	–	47
Развивающиеся	Доход выше среднего	3 956	12 235	34
	Доход ниже среднего	1 006	3 956	23
	Низкий доход	–	1 006	8

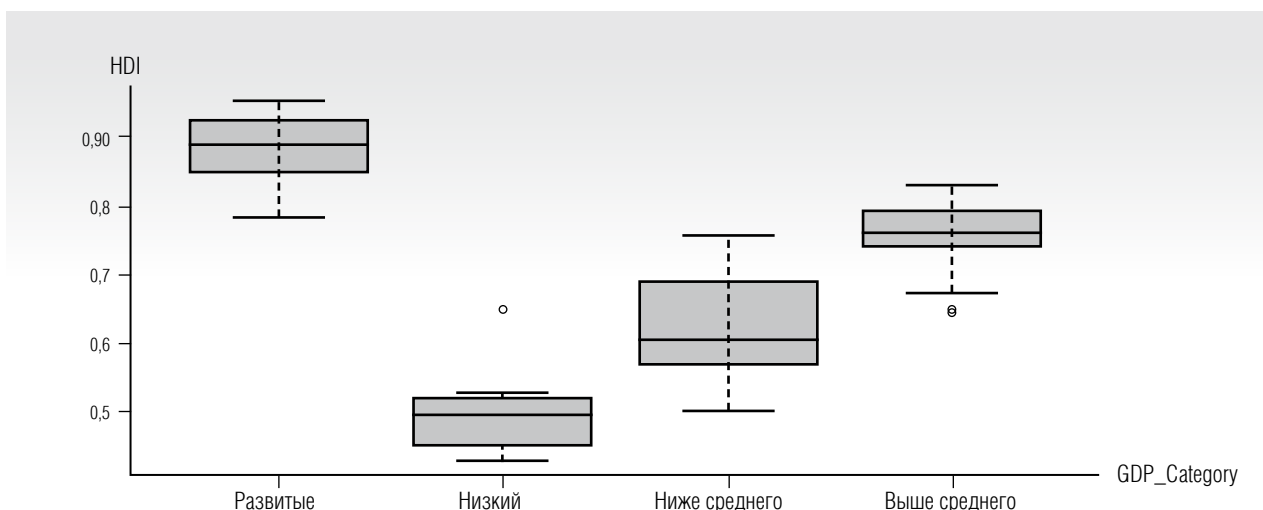


Рис. 3. Диаграммы размаха HDI по группам стран

расчетными значениями считаются случайными и связанными с ошибками измерения. В нечеткой регрессионной модели эти отклонения предполагаются зависящими от неопределенности структуры системы. Таким образом, нечеткая регрессия применима в случаях, когда структура данных препятствует статистическому анализу [16, 17].

Нечеткое число A задается функцией принадлежности: $\mu_A : R \rightarrow [0; 1]$, где a – модальное значение, для которого $\mu_A(a) = 1$. Треугольные нечеткие числа задаются триплетом $A = (a_L, a_C, a_R)$, где $a_L \leq a_C \leq a_R$, интервал $[a_L; a_R]$ – носитель множества (a_L – нижняя граница числа, a_R – верхняя), a_C – модальное значение [18], и имеют функцию принадлежности:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \notin [a_L, a_R]; \\ \frac{x - a_L}{a_C - a_L}, & \text{если } a_L \leq x \leq a_C; \\ \frac{a_R - x}{a_R - a_C}, & \text{если } a_C \leq x \leq a_R. \end{cases}$$

Можно считать обычное (четкое) число частным случаем нечеткого, для которого $a_L = a_C = a_R$, а соответствующая характеристическая функция имеет вид:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \neq a_C; \\ 1, & \text{если } x = a_C. \end{cases}$$

Пусть известно m значений y_1, \dots, y_m наблюдаемой переменной Y и соответствующие значения n независимых переменных x_{ij} , $i = 0, \dots, m, j = 0, \dots, n$. Нечеткая линейная регрессионная модель в общем виде может быть представлена следующим образом:

$$\hat{Y} = A_0 + A_1 x_1 + \dots + A_n x_n.$$

Задача построения нечеткой регрессии, сформулированная в работе [19], заключается в подборе нечетких коэффициентов $A_j, j = 0, \dots, n$, которые должны удовлетворять двум условиям [20]:

◆ Нечеткие числа $\hat{y}_i \in \hat{Y}$ должны содержать четкие наблюдаемые значения y_i со степенью достоверности не меньшей, чем некоторое заданное число h , т.е. должно выполняться неравенство $\mu_i(\hat{y}_i) \geq h$;

◆ Суммарная нечеткость величин A_j должна быть минимальна.

В нашем исследовании мы полагаем $h = 0$, т.е. заменяем условие $\mu_i(\hat{y}_i) \geq h$ требованием, чтобы y_i принадлежали носителям \hat{y}_i .

В заключение данного раздела необходимо сделать несколько замечаний касательно интерпрета-

ции нечеткой модели. В результате построения нечеткой линейной регрессии мы получаем интервал $\hat{y}_i = (a_L; a_C; a_R)$ для каждого наблюдаемого значения y_i , однако он не является аналогом доверительного интервала, получаемого из статистической модели линейной регрессии. Статистический доверительный интервал показывает уверенность (например, 95%), что отношения между переменными являются такими, как описывает модель. Значение функции принадлежности $\mu_A(c)$ показывает возможность того, что нечеткая величина A равна c . Высокий уровень возможности не означает высокую вероятность события, однако, если событие невозможно, то оно невероятно. В этом смысле нечеткая регрессионная модель более грубо оценивает ситуацию, но именно поэтому она более устойчива, когда информации о том, что происходит, немного.

3. Результаты

Для построения моделей мы использовали метод PLRLS (Possibilistic Linear Regression combined with the Least Squares), предложенный в работе [21], поскольку он позволяет получить оценки целевой переменной в виде асимметричных треугольных нечетких чисел. Все вычисления были выполнены при помощи пакета fuzzyreg [22] для программной среды R.

Полученные значения коэффициентов для разных групп стран представлены в *таблице 3*. В столбце $d^2(F, \hat{Y})$ представлена оценка качества модели, рассчитанная как среднее значение расстояний между фактическими наблюдениями y_i , преобразованными в нечеткие треугольные числа $f_i \in F$, и предсказанными моделью треугольными числами $\hat{y}_i \in \hat{Y}$. Согласно [16], расстояние между двумя нечеткими числами $A = (a_L; a_C; a_R)$ и $B = (b_L; b_C; b_R)$ равно:

$$d^2(A, B) = (a_L - b_L)^2 + (a_C - b_C)^2 + (a_R - b_R)^2.$$

Определенная таким образом величина измеряет близость двух функций принадлежности, при $d^2(A, B) = 0$ функции принадлежности A и B эквивалентны.

Значения $d^2(F, \hat{Y})$ показывают, что уверенность модели незначительно снижается с уменьшением дохода, т.е. чем ниже ВВП на душу населения, тем ниже точность описания зависимости человеческого развития от ИКТ и инноваций. Однако, сравнивая эти расстояния с фактическими значениями HDI, можно сделать вывод, что снижение точности не является существенным.

Таблица 3.

Коэффициенты нечетких линейных регрессионных моделей

Категория стран по GDP per capita	Свободный член	NRI	GII	$d^2(F, \hat{Y})$
Развитые	(0,5861; 0,6094; 0,6427)	0,0024	0,0023	0
Доход выше среднего	(0,5139; 0,5786; 0,6189)	0,0061	-0,0033	0,01
Доход ниже среднего	(0,1938; 0,2749; 0,3445)	0,0016	-0,0029	0,01
Низкий доход	0,2649	(0,006; 0,008; 0,0016)	0,0006	0,02

Кроме того, при анализе *таблицы 3* обращает на себя внимание тот факт, что во всех случаях, за исключением стран с низким доходом на душу населения, коэффициенты при NII и GII оказались четкими числами, нечеткость модели обеспечивается за счет свободного члена.

Так же, как и в случае статистической модели, свободный член можно интерпретировать как значение целевой переменной в случае, когда значения всех регрессоров равны нулю. В данном случае это означает, что свободный член задает некое «базовое» значение нечеткого множества, которое для конкретного наблюдаемого объекта корректируется за счет описывающих его переменных.

Эти базовые значения нечетких множеств для разных групп стран представлены на *рисунке 4*. Отметим, что, носитель нечеткого множества, т.е. диапазон $[a_L; a_R]$ увеличивается по мере движения от развитых стран к странам с доходом ниже среднего, однако превращается в четкое число для стран с низким доходом.

Интересно, что наблюдается пересечение свободных членов для развитых стран и развивающихся стран с доходом выше среднего (ДВС). Однако, как следует из данных, представленных на *рисунках 3 и 5*, значительное пересечение между этими группами отсутствует. Этот факт можно объяснить при помощи коэффициентов при переменных GII и NRI. Для развитых стран оба коэффициента имеют близкие значения, что означает, что государства данной группы более-менее сбалансированно развивают все инновационные технологии, которые способствуют повышению качества жизни населения.

В группе развивающихся стран с доходом выше среднего ИКТ оказывают гораздо большее влияние на уровень человеческого развития, однако, коэффициент при индексе инноваций имеет отрицательное значение. Этот парадоксальный результат фактически означает, что инновационная активность в стране связана со снижением качества жизни.

Для более глубокого понимания этого феномена рассмотрим группу стран, которые находятся на

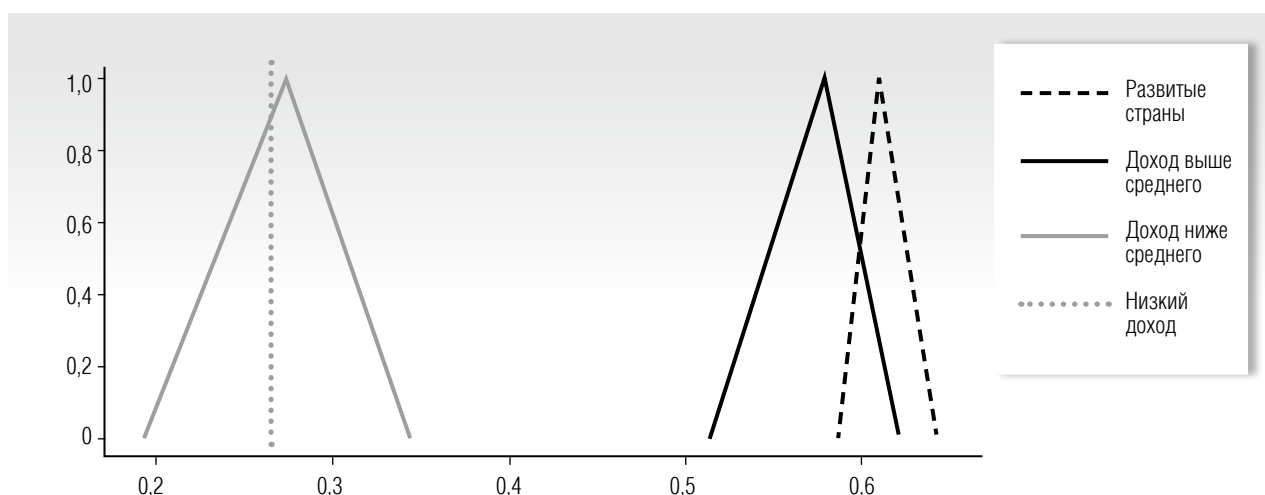


Рис. 4. Свободные члены нечетких регрессионных моделей для разных групп стран

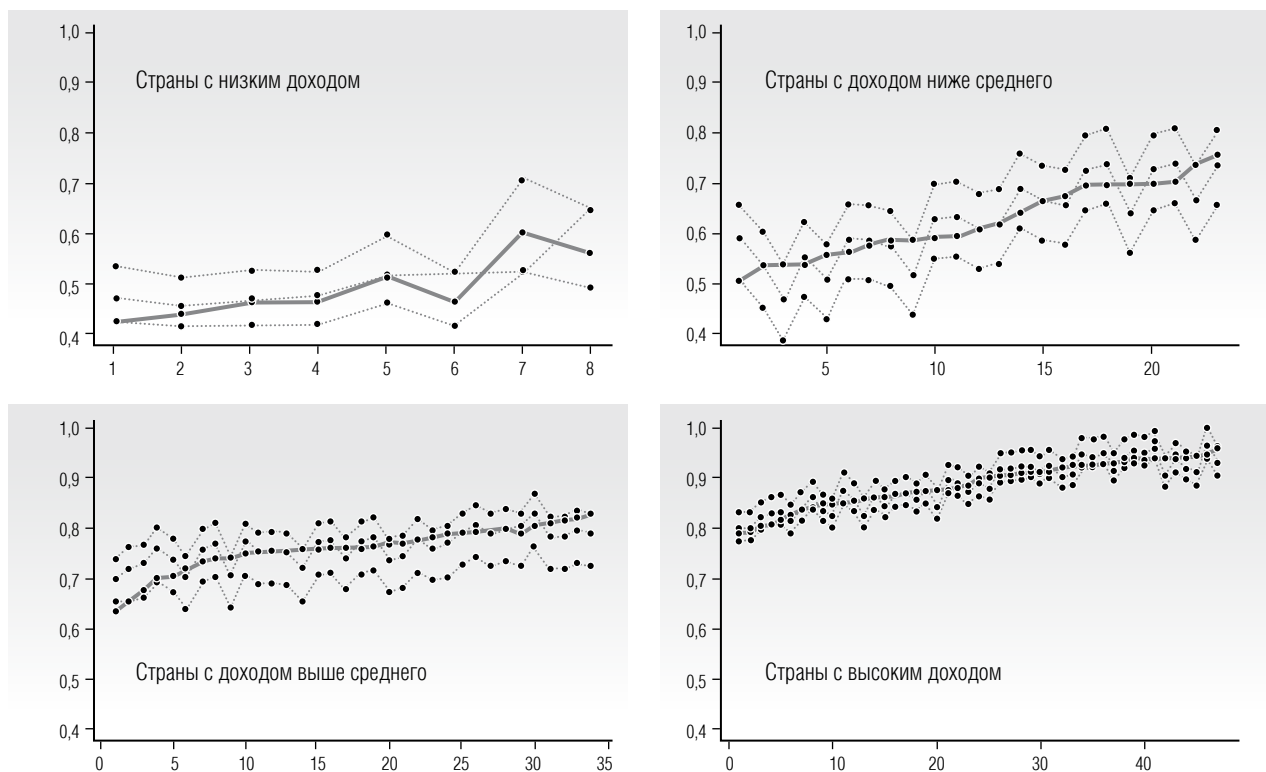


Рис. 5. Нечеткие модели для всех групп стран.
 Сплошная линия соответствует фактическому значению HDI, пунктирные линии показывают интервал $\hat{y}_i = (a_L; a_C; a_R)$, рассчитанный на основе модели нечеткой регрессии.
 Значения упорядочены по возрастанию индекса HDI

пересечении множеств развитых и развивающихся с доходом выше среднего (таблица 4). Особый интерес этот анализ представляет еще и потому, что Российская Федерация тоже принадлежит к этой группе.

Как следует из представленных данных, Болгария имеет сравнимое с Россией значение NRI, при этом опережая ее по индексу инноваций. Тем не менее, в рейтинге человеческого развития Болгария находится ниже России. Аргентина, проигрывая России по обоим экзогенным переменным, опережает ее по HDI именно за счет более низкого значения GI. Аналогично, Малайзия превосходит все перечисленные в таблице 4 страны как по индексу сетевой готовности, так и по глобальному индексу инноваций, но имеет наименьшее значение HDI. Китай значительно опережает Россию по технологическим индексам, но отстает по индексу человеческого развития.

В таблице 5 представлен анализ сильных и слабых сторон инновационного развития по субиндексам

GI на основании отчета за 2019 год [15] для нескольких стран, сравнимых с Российской Федерацией. Знак “+” в ячейке означает, что составители отчета отметили данное направление как сильную сторону, знак “-” соответствует слабой стороне. Знаки “+/-” соответствуют субиндексам, при оценке которых были зафиксированы как сильные, так и слабые стороны.

Можно выделить несколько черт, общих для стран, принадлежащих разным группам:

- ◆ Развивающиеся страны характеризуются недостаточным развитием институтов по сравнению с развитыми;
- ◆ В развивающихся странах (и особенно в России) хуже обстоят дела с созданием новых продуктов и сервисов. При этом развитие человеческого капитала и процессы приобретения и использования знаний в развивающихся странах оцениваются в среднем выше, но влияние знаний на результаты деятельности низкое;

Таблица 4.

Страны, сравнимые с Российской Федерацией
по значениям индексов

Ранг по HDI	Страна	GII	NRI	HDI	GDP per capita (USD)	Группа
41	Хорватия	37,8	56,75	0,831	14 910	Развитые
42	Аргентина	31,9	51,27	0,825	11 684	Развивающиеся / ДВС
43	Оман	31,0	52,87	0,821	16 415	Развитые
44	Россия	37,6	54,98	0,816	11 289	Развивающиеся / ДВС
45	Болгария	40,3	54,77	0,813	9 273	Развивающиеся / ДВС
46	Румыния	36,8	55,47	0,811	12 301	Развитые
47	Беларусь	32,1	50,34	0,808	6 290	Развивающиеся / ДВС
48	Уругвай	34,3	56,4	0,804	17 278	Развитые
49	Кувейт	34,6	53,39	0,803	33 994	Развитые
50	Малайзия	42,7	63,76	0,802	11 373	Развивающиеся / ДВС
70	Китай	54,8	57,63	0,752	9770	Развивающиеся / ДВС

ДВС – Доход выше среднего

♦ Сильной стороной развитых стран является экология;

♦ Сильной стороной всех рассмотренных развивающихся стран в отличие от рассмотренных развитых является размер рынка.

На *рисунке 6* представлены средние значения субиндексов GII для трех развитых стран (Хорватия, Румыния, Уругвай) и четырех развивающихся стран с доходом выше среднего (Аргентина, Россия, Малайзия, Китай), перечисленных в *таблице 5*. Как видим, выбранные развивающиеся страны опережают развитые по всем измерениям, за исключением институционального развития.

Кроме того, для всех рассмотренных развивающихся стран с доходом выше среднего зафиксированы одинаковые особенности финансирования инноваций. Государственные инвестиции (в процентах от ВВП) находятся на уровне, сравнимом с развитыми странами [23], но частные инвестиции заметно ниже, чем в развитых странах. Кроме того, развивающиеся страны заметно отстают по размеру прямых иностранных инвестиций [24]. Это свидетельствует о неверии локальных частных и иностранных инвесторов в возможность получения надежного дохода, что связано, прежде всего, с оценкой стабильности политической, экономической и социальной среды.

Таким образом, из представленных данных можно сделать вывод, что основным фактором, препятствующим повышению качества жизни в стране, для развивающихся стран является состояние институтов. Без повышения зрелости институтов, стимулирование других направлений инновационного развития (образование, знания и технологии, инфраструктура) ведет к снижению HDI. Для России среди возможных проявлений этого эффекта можно перечислить:

♦ Высокий процент эмиграции среди наиболее квалифицированной части населения;

♦ Низкая отдача от инвестиций в интеллектуальные активы. Например, в работе [25] проведен анализ государственных инвестиций в суперкомпьютеры и показано, что в России отдача в виде создания новых знаний (публикации в авторитетных международных журналах) находится на гораздо более низком уровне, чем в других странах, как развитых, так и развивающихся. Среди причин этого перечислены: слабая связь науки и промышленности, низкий спрос на результаты научной деятельности со стороны промышленности, доступность конкурирующих наукоемких продуктов зарубежного производства;

♦ Высокая доля государства в экономике (по разным оценкам до 70% ВВП⁵). Однако в эмпири-

⁵ Госкапитализм в России вышел на новый уровень. Ведомости, 30.04.19, <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2019/04/30/800603-goskapitalizm-v-rossii-vishel-na-novii-uroven>

Таблица 5.

**Сильные и слабые стороны стран
на основе субиндексов ГИ**

Субиндекс ГИ	Развитые			Развивающиеся / ДВС			
	Хорватия	Румыния	Уругвай	Аргентина	Россия	Малайзия	Китай
Институты							
Политическая среда			+		-		+
Регулирование		+		-	-	-	-
Бизнес среда	-			-		-	
Человеческий капитал							
Образование	+	-	+	+	+	-	
Высшее образование	-	+	-	+/-	+	+	-
Исследования	-	-	-	+		+	+
Инфраструктура							
ИКТ			+				
Энергетика и логистика	-		-				+
Экология	+	+	+		-		-
Зрелость рынка							
Кредиты		-	-	-	-		-
Инвестиции		-	-	-	-	+	-
Конкуренция, размер рынка	-	-		+/-	+	+	+
Зрелость бизнеса							
Использование знаний	+		-	+	+	-	+
Связь с инновациями	-	-		-		+/-	-
Приобретение знаний	-	+	+/-	+	+	+	+/-
Знания и технологии							
Создание знаний	+	-			+	-	+
Влияние знаний	+/-	+	+	-	-		+
Распространение знаний	-	+	+			+	+
Творческие результаты							
Нематериальные активы	+				-	+/-	+
Креативные товары и услуги	+	+	+/-	+	-	+/-	+/-
Онлайн креативность	+		+				-

ческом исследовании [26] показано, что знания не являются фактором эффективности для организаций, где государство является собственником;

◆ Тенденция к самоизоляции в том числе и в научных исследованиях. В частности, в работе [27]

показано, что приоритеты российских исследователей в области ИКТ не совпадают с приоритетами международного сообщества, а публикуемые работы уступают по качеству работам зарубежных авторов.

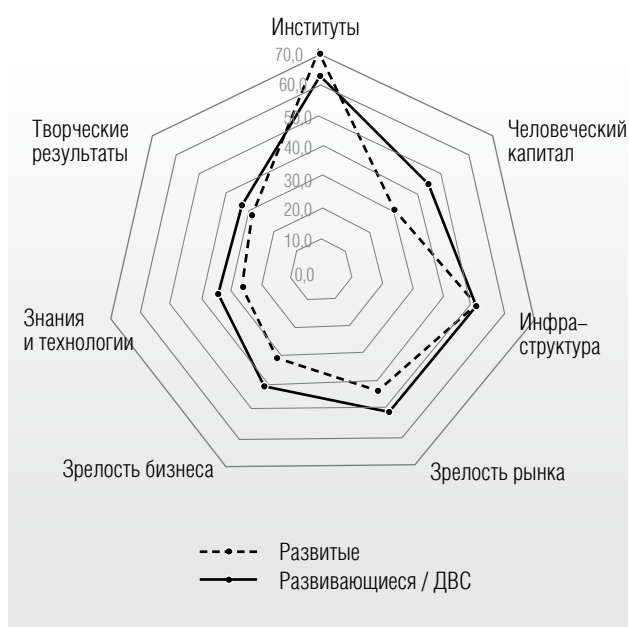


Рис. 6. Средние значения субиндексов GII для трех развитых (Хорватия, Румыния, Уругвай) и четырех развивающихся стран с доходом выше среднего (Аргентина, Россия, Малайзия, Китай)

Кроме того, согласно прогнозам [28], развитие технологий может привести к возникновению общества, контролируемого элитой, не сдерживаемой традиционными ценностями. Уже сейчас в некоторых странах имеется возможность практически непрерывно наблюдать за каждым гражданином. Со-

бираемая информация может быть использована элитами в своих интересах, которые не совпадают с интересами граждан. Наиболее ярким примером такой платформы является WeChat, используемой правительством Китая [29, 30].

Для развивающихся стран с доходом ниже среднего модель (таблица 3) выглядит аналогично странам с доходом выше среднего – позитивное влияние NRI и отрицательное GII. Однако при этом свободный член резко смещен в область меньших значений (рисунок 4) и влияние ИКТ на уровень жизни выражено значительно слабее. Можно констатировать, что для этих стран существенны все те же проблемы, что и для стран с доходом выше среднего, но они усугубляются еще более низким качеством институтов и инфраструктуры. К числу этих стран относятся, например, Украина, Молдова и Кыргызстан. Однако следует отметить, что по индексу человеческого развития они опережают многие страны из нижней части списка с доходом выше среднего (таблица 6). Например, Украина сравнима с Китаем по HDI, но имеет заметно меньшие значения индексов NRI и GII и ВВП на душу населения. Данная ситуация связана прежде всего с политической нестабильностью, т.е. с качеством институтов, но в целом постсоветские страны имеют более высокое значение HDI, чем сравнимые с ними по технологическим индексам другие государства. Это можно объяснить более высокой оценкой населения, которое в значительной мере еще является унаследованным от СССР.

Таблица 6.

Некоторые развивающиеся страны на пересечении множеств с доходом выше среднего (ДВС) и ниже среднего (ДНС)

Ранг по HDI	Страна	GII	NRI	HDI	GDP per capita	Группа по доходу
67	Армения	34,0	49,84	0,755	4212	ДВС
70	Китай	54,8	57,63	0,752	9770	ДВС
72	Украина	37,4	48,92	0,751	3095	ДНС
74	Монголия	36,3	39,91	0,741	4121	ДВС
75	Тунис	32,8	42,04	0,735	3447	ДНС
76	Иордания	29,6	46,97	0,735	4241	ДВС
79	Парагвай	27,1	40,55	0,702	5821	ДВС
80	Молдова	35,5	48,93	0,700	3227	ДНС

Для стран с низким доходом структура модели изменяется: свободный член является четким числом, а нечетким – коэффициент при NRI. Отметим (*таблица 3, рисунок 4*), что полученное значение свободного члена (0,2649) близко к модальному значению свободного члена для развивающихся стран с доходом ниже среднего (0,2749). Однако для этой группы стран влияние ИКТ выражено, во-первых, в наименьшей степени, во-вторых, описывается нечетким числом. Очевидно, это объясняется чрезвычайно низким доходом, который не позволяет населению приобретать мобильные телефоны и другие средства доступа к информации, а бизнесу и правительству развивать телекоммуникационные и информационные сервисы. Отметим также, что для этой группы стран индекс ГИ имеет положительное влияние на HDI, однако малые значения индекса инноваций нивелируют этот эффект. К числу этих стран относятся в основном африканские государства с крайне нестабильной политической ситуацией и неразвитой экономикой (Уганда, Эфиопия, Мали и др.).

Заключение

Таким образом, нечеткий регрессионный анализ зависимости индекса человеческого развития от индекса сетевой готовности и глобального индекса инноваций позволил выявить некоторые важные закономерности влияния знаний, технологий и ин-

фраструктуры на благосостояние и качество жизни в стране.

Для развитых стран подтверждено положительное влияние инноваций и ИКТ на уровень жизни, однако для развивающихся стран коэффициент при глобальном индексе инноваций имеет отрицательное значение. Фактически это означает, что стимулирование инноваций без развития политических и социальных институтов ведет к снижению качества жизни.

Более глубокое исследование этого феномена требует совместных усилий представителей различных наук, однако уже на данный момент можно сформулировать три тесно связанных механизма, объясняющих отрицательный эффект инноваций на уровень жизни:

1. При ограниченных ресурсах, их перераспределение в пользу стимулирования инноваций ведет к сокращению поддержки здравоохранения, образования и т.д.;

2. Инновационные системы, создаваемые в интересах элит, направлены на контроль над обществом, а не на повышение уровня жизни его членов;

3. Государственные органы, даже пытающиеся развивать инновационные технологии в интересах всего общества, при отсутствии прозрачности и конкуренции неэффективно используют доступные ресурсы. ■

Литература

1. Frey B.S., Stutzer A. Happiness and economics: How the economy and institutions affect human well-being. Princeton University Press, 2010.
2. Frijters P., Clark A.E., Krekel C., Layard R. A happy choice: wellbeing as the goal of government // Behavioural Public Policy. 2020. Vol. 4. No 2. P. 126–165. DOI: 10.1017/bpp.2019.39.
3. Drucker P.F. Post-capitalist society. Routledge, 1994.
4. Schwab K. The fourth industrial revolution. Currency, 2017.
5. Dewan S., Kraemer K.L. Information technology and productivity: Evidence from country-level data // Management Science. 2000. Vol. 46. No 4. P. 548–562. DOI: 10.1287/mnsc.46.4.548.12057.
6. Ganju K.K., Pavlou P.A., Banker R.D. Does information and communication technology lead to the well-being of nations? A country-level empirical investigation // MIS Quarterly. 2016. Vol. 40. No 2. P. 417–430. DOI: 10.25300/MISQ/2016/40.2.07.
7. Semak A. Economic development. Determination of the factors causing the “Great divergence.” // Resolving international economic problems with the tools of contemporary econometrics / K. Beck (ed.). Lazarski University Press, 2019.
8. Brynjolfsson E., Saunders A. Wired for innovation: How information technology is reshaping the economy. Cambridge, MA: MIT Press, 2009.
9. Atasoy H., Chen P.-Y., Ganju K.K. (2014) The effect of health IT investments on regional health care costs // Twenty Second European Conference on Information Systems (ECIS 2014). Tel Aviv, Israel, 9–11 June 2014. P. 1–16.
10. Value of connectivity: Economic and social benefits of expanding Internet access / Deloitte, 2014. [Электронный ресурс]: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ie/Documents/TechnologyMediaCommunications/2014_uk_tmt_value_of_connectivity_deloitte_ireland.pdf (дата обращения 25.06.2020).
11. Human Development Report 2019: Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in human development in the 21st century. Technical Notes / HDI Technical Notes, 2019. [Электронный ресурс]: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2019_technical_notes.pdf (дата обращения 24.06.2020).

12. United Nations Development Programme: Human Development Reports / UNDP, 2020. [Электронный ресурс]: <http://hdr.undp.org> (дата обращения 24.06.2020).
13. Stewart F. Capabilities and human development: Beyond the individual – the critical role of social institutions and social competencies / Human Development Report Office Occasional Paper, 2013/03. [Электронный ресурс]: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdro_1303_stewart.pdf (дата обращения 24.06.2020).
14. NRI 2019 Analysis / NRI, 2020. [Электронный ресурс]: <https://networkreadinessindex.org/nri-2019-analysis> (дата обращения 25.06.2020).
15. GII (2019) Global Innovation Index Report 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.globalinnovationindex.org/userfiles/file/reportpdf/gii-full-report-2019.pdf> (дата обращения 25.06.2020).
16. Diamond P. Fuzzy least squares // Information Science. 1988. No 46. P. 141–157.
17. Radden D. Properties of certain fuzzy linear regression methods // Fuzzy Sets and Systems. 1994. No 64. P. 361–375.
18. Guo P., Tanaka H., Zimmermann H.J. Upper and lower possibility distributions of fuzzy decision variables in upper level decision problems // Fuzzy Sets and Systems. 1999. No 111. P. 71–79.
19. Tanaka H., Uejima S., Asai K. Linear regression analysis with fuzzy model // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1982. No 12. P. 903–907.
20. Sakawa M., Yano H. Multiobjective fuzzy linear regression analysis for fuzzy input-output data // Fuzzy Sets and Systems. 1992. No 47. P. 173–181.
21. Lee H., Tanaka H. Fuzzy approximations with non-symmetric fuzzy parameters in fuzzy regression analysis // Journal of Operations Research. 1999. No 42. P. 98–112.
22. Skrabanek P., Martinkova N. Getting started with fitting fuzzy linear regression models in R / 2019. [Электронный ресурс]: <https://cran.r-project.org/web/packages/fuzzyreg/vignettes/GettingStarted.pdf> (дата обращения 09.07.2020).
23. Devadas S., Pennings P. Assessing the effect of public capital on growth. An extension of the World Bank long-term growth model. World Bank Group Policy Research Working Paper 8604 / 2018. [Электронный ресурс]: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/701811539089110745/pdf/WPS8604.pdf> (дата обращения 17.07.2020).
24. World Investment Report // UNCTAD, 2018. [Электронный ресурс]: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/wir2018_en.pdf (дата обращения 17.07.2020).
25. Zelenkov Y., Sharshheeva J. Impact of the investment in supercomputers on national innovation system and country's development // Communications in Computer and Information Science. Vol. 753: Parallel Computational Technologies. Switzerland: Springer, 2017. P. 42–57.
26. Zelenkov Y. The effectiveness of Russian organizations: The role of knowledge management and change readiness // Russian Management Journal. 2018. Vol. 16. No 4. P. 513–536. DOI: 10.21638/spbu18.2018.403.
27. Зеленков Ю.А. Информационные системы через призму научных публикаций // Открытые системы. 2016. No 2. P. 44–46.
28. Brzezi ski Z. Between two ages: America's role in the technetronic era. New York: Viking, 1970.
29. Cockerell I. Inside China's massive surveillance operation // Wired, 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.wired.com/story/inside-chinas-massive-surveillance-operation/> (дата обращения 10.08.2020).
30. Deibert R. WeChat users outside China face surveillance while training censorship algorithms // Washington Post, 2020. [Электронный ресурс]: <https://www.washingtonpost.com/opinions/2020/05/07/wechat-users-outside-china-face-surveillance-while-training-censorship-algorithms/> (дата обращения 10.08.2020).

Об авторах

Зеленков Юрий Александрович

доктор технических наук;

профессор департамента бизнес-информатики, Высшая школа бизнеса, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

E-mail: yzelenkov@hse.ru

ORCID: 0000-0002-2248-1023

Лашкевич Елизавета Витальевна

студент бакалавриата, образовательная программа «Бизнес-информатика», Высшая школа бизнеса, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

E-mail: evlashkevich@edu.hse.ru

Fuzzy regression model of the impact of technology on living standards

Yury A. Zelenkov

E-mail: yzelenkov@hse.ru

Elizaveta V. Lashkevich

E-mail: evlashkevich@edu.hse.ru

National Research University Higher School of Economics
Address: 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia

Abstract

This paper proposes a model of the impact of technology on the standard of living based on fuzzy linear regression. The Human Development Index (HDI) was chosen as a dependent variable as an indicator of the health and well-being of the population. The explanatory variables are the Network Readiness Index (NRI), which measures the impact of information and communication technologies (ICT) on society and the development of the nation, and the Global Innovation Index (GII), which measures the driving forces of economic growth. The analysis is based on data for 2019 for four groups of countries with different levels of GDP per capita. For developed countries, the positive and balanced impact of innovation and ICT on living standards has been confirmed. For two groups of developing countries (upper and lower middle income), the GII coefficient was found to be negative. A more in-depth analysis showed that this is due to the state of political and social institutions. This fact means that without a simultaneous increase in the maturity of institutions, stimulation of other areas of innovative development (education, knowledge and technology, infrastructure) leads to a decrease in the quality of life.

Key words: living standards; technical development; fuzzy regression; quantitative models.

Citation: Zelenkov Yu.A., Lashkevich E.V. (2020) Fuzzy regression model of the impact of technology on living standards. *Business Informatics*, vol. 14, no 3, pp. 67–81. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.3.67.81

References

1. Frey B.S., Stutzer A. (2010). *Happiness and economics: How the economy and institutions affect human well-being*. Princeton University Press.
2. Frijters P., Clark A.E., Krekel C., Layard R. (2020) A happy choice: wellbeing as the goal of government. *Behavioural Public Policy*, vol. 4, no 2, pp. 126–165. DOI: 10.1017/bpp.2019.39.
3. Drucker P.F. (1994) *Post-capitalist society*. Routledge.
4. Schwab K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Currency.
5. Dewan S., Kraemer K.L. (2000) Information technology and productivity: Evidence from country-level data. *Management Science*, vol. 46, no 4, pp. 548–562. DOI: 10.1287/mnsc.46.4.548.12057.
6. Ganju K.K., Pavlou P.A., Banker R.D. (2016). Does information and communication technology lead to the well-being of nations? A country-level empirical investigation. *MIS Quarterly*, vol. 40, no 2, pp. 417–430. DOI: 10.25300/MISQ/2016/40.2.07.
7. Semak A. (2019) Economic development. Determination of the factors causing the “Great divergence.” *Resolving international economic problems with the tools of contemporary econometrics* (K. Beck, ed.). Lazarski University Press.
8. Brynjolfsson E., Saunders A. (2009) *Wired for innovation: How information technology is reshaping the economy*. Cambridge, MA: MIT Press.
9. Atasoy H., Chen P.-Y., Ganju K.K. (2014) The effect of health IT investments on regional health care costs. *Proceedings of Twenty Second European Conference on Information Systems (ECIS 2014), Tel Aviv, Israel, 9–11 June 2014*, pp. 1–16.
10. Deloitte (2014) *Value of connectivity: Economic and social benefits of expanding Internet access*. Available at: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ie/Documents/TechnologyMediaCommunications/2014_uk_tmt_value_of_connectivity_deloitte_ireland.pdf (accessed 25 June 2020).
11. HDI Technical Notes (2019) *Human Development Report 2019: Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in human development in the 21st century*. Technical Notes. Available at: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2019_technical_notes.pdf (accessed 24 June 2020).
12. UNDP (2020) *United Nations Development Programme: Human Development Reports*. Available at: <http://hdr.undp.org> (accessed 24 June 2020).
13. Stewart F. (2013) Capabilities and human development: Beyond the individual – the critical role of social institutions and social competencies. *Human Development Report Office Occasional Paper*, 2013/03. Available at: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdro_1303_stewart.pdf (accessed 24 June 2020).

14. NRI (2020) *NRI 2019 Analysis*. Available at: <https://networkreadinessindex.org/nri-2019-analysis> (accessed 25 July 2020).
15. GII (2019) *Global Innovation Index Report 2019*. Available at: <https://www.globalinnovationindex.org/userfiles/file/reportpdf/gii-full-report-2019.pdf> (accessed 25 June 2020).
16. Diamond P. (1988) Fuzzy least squares. *Information Science*, no 46, pp. 141–157.
17. Radden D. (1994) Properties of certain fuzzy linear regression methods. *Fuzzy Sets and Systems*, no 64, pp. 361–375.
18. Guo P., Tanaka H., Zimmermann H.J. (1999) Upper and lower possibility distributions of fuzzy decision variables in upper level decision problems. *Fuzzy Sets and Systems*, no 111, pp. 71–79.
19. Tanaka H., Uejima S., Asai K. (1982) Linear regression analysis with fuzzy model. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, no 12, pp. 903–907.
20. Sakawa M., Yano H. (1992) Multiobjective fuzzy linear regression analysis for fuzzy input-output data. *Fuzzy Sets and Systems*, no 47, pp. 173–181.
21. Lee H., Tanaka H. (1999) Fuzzy approximations with non-symmetric fuzzy parameters in fuzzy regression analysis. *Journal of Operations Research*, no 42, pp. 98–112.
22. Skrabanek P., Martinkova N. (2019) *Getting started with fitting fuzzy linear regression models in R*. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/fuzzyreg/vignettes/GettingStarted.pdf> (accessed 9 July 2020).
23. Devadas S., Pennings P. (2018) Assessing the effect of public capital on growth. An extension of the World Bank long-term growth model. *World Bank Group Policy Research Working Paper 8604*. Available at: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/701811539089110745/pdf/WPS8604.pdf> (accessed 17 July 2020).
24. UNCTAD (2018) *World Investment Report*. Available at: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/wir2018_en.pdf (accessed 17 July 2020).
25. Zelenkov Y., Sharsheeva J. (2017) Impact of the investment in supercomputers on national innovation system and country's development. *Communications in Computer and Information Science. Vol. 753: Parallel Computational Technologies*. Switzerland: Springer, pp. 42–57.
26. Zelenkov Y. (2018) The effectiveness of Russian organizations: The role of knowledge management and change readiness. *Russian Management Journal*, vol. 16, no 4, pp. 513–536. DOI: 10.21638/spbu18.2018.403.
27. Zelenkov Y. (2016) Information systems through the prism of scientific publications. *Open Systems*, no 2, pp. 44–46 (in Russian).
28. Brzeziński Z. (1970) *Between two ages: America's role in the technetronic era*. New York: Viking.
29. Cockerell I. (2019) Inside China's massive surveillance operation. *Wired*. Available at: <https://www.wired.com/story/inside-chinas-massive-surveillance-operation/> (accessed 10 August 2020).
30. Deibert R. (2020) WeChat users outside China face surveillance while training censorship algorithms. *Washington Post*. Available at: <https://www.washingtonpost.com/opinions/2020/05/07/wechat-users-outside-china-face-surveillance-while-training-censorship-algorithms/> (accessed 10 August 2020).

About the authors

Yury A. Zelenkov

Dr. Sci. (Tech.);

Professor, Department of Business Informatics, Graduate School of Business,
National Research University Higher School of Economics,
20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

E-mail: yzelenkov@hse.ru

ORCID: 0000-0002-2248-1023

Elizaveta V. Lashkevich

Student, BSc Program “Business Informatics”, Graduate School of Business,
National Research University Higher School of Economics,
20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

E-mail: evlashkevich@edu.hse.ru