

ОЦЕНКА ЦИФРОВОЙ ПОДКЛЮЧЕННОСТИ РЕГИОНОВ РОССИИ**Архипова М.Ю., Сиротин В.П.***Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Москва, Россия*

markhipova@hse.ru, vsirotin@hse.ru

Аннотация. Измерение универсальной цифровой подключенности на субнациональном уровне позволяет позиционировать регионы относительно других стран и их регионов и построить границы эффективности цифровизации. Результаты могут быть использованы для измерения цифрового неравенства и выявления факторов, определяющих уровень эффективного регионального цифрового развития.

Ключевые слова: цифровизация, сводный показатель, доступность данных, сравнительный анализ, метод главных компонентов, оболочечный анализ данных, цифровое неравенство.

Введение

Универсальная цифровая подключенность может рассматриваться как феномен, когда люди, учреждения социального обслуживания, бизнес-структуры, государственные и местные органы власти могут быть связаны друг с другом независимо от места, где они взаимодействуют, и физического расстояния между ними. Универсальная цифровая подключенность также используется в качестве названия сводного индикатора, который измеряет уровень развития этого явления. Такой индикатор характеризует техническую способность субъектов и объектов взаимодействовать в режиме реального времени в различных форматах. Общий индикатор развития информационно-коммуникационных технологий может дополнительно включать в себя другие характеристики, которые отражают возможность приобретения пользователями коммуникационных гаджетов и услуг, показатели коммуникационного трафика и тому подобные. Но, пытаясь определить более конкретно показатель развития информационно-коммуникационных технологий, мы сталкиваемся с проблемой доступности данных по всем объектам (странам, регионам). Ориентируясь на индекс универсальной подключенности, мы можем более компактно представить уровень развития цифровых коммуникаций. В случае необходимости мы можем перейти к использованию более сложного подхода, чтобы увидеть цифровизацию с большей степенью детализации. Почему мы снова и снова возвращаемся к оценке такого нового явления, как цифровизация, изобретая новые методы ее оценки? Действительно ли новый метод работает на более низком уровне, чем межстрановой? Можем ли мы обеспечить на основе такой оценки межуровневый бенчмаркинг? Такие вопросы ждут решений, и лучший способ получить их - попытаться применить адекватные инструменты для оценки развития цифровых коммуникаций и сделать выводы на основе новой информации.

1. Обзор литературы и источников данных

В работе [1] авторы используют сравнительно простые показатели, такие как количество компьютеров или пользователей сети интернет на 100 человек населения, для характеристики проникновения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в повседневную жизнь. Они могут быть взяты из открытых источников, предоставляемых официальными статистическими службами. Эти показатели могут использоваться либо отдельно в качестве прокси переменных, либо быть объединены в новые переменные для оценки развития ИКТ в разных странах [2]. Агрегированные индикаторы могут быть построены с использованием метода главных компонентов с помощью иных методов. Показатели промежуточного уровня часто используются в качестве основы для более общего индекса. Методология и особенности построения агрегированных показателей подробно представлены в [3].

Многие исследователи представляют свои показатели и их комбинации для межстрановых сравнений и измерения глобального информационного неравенства. В работе [4] авторы

использовали две технологические переменные, измеряющие степень проникновения интернета и мобильных телефонов в повседневную жизнь людей, и две переменные, отражающие финансовые аспекты такого проникновения. Чтобы рассчитать индекс развития ИКТ другая группа исследователей [5] использовала фиксированную телефонную связь, мобильные телефоны, персональные компьютеры и подключение к Интернету на 1000 человек населения, чтобы оценить различие между индексом развития ИКТ в отдельно взятой стране и его значением в США с целью определения глобального информационного неравенства.

Около десяти лет назад эффект насыщения в проникновении базовых информационно-коммуникационных технологий стал очевиден для многих стран, и при составлении индекса предпочтение отдавалось более продвинутому показателю развития ИКТ. Направление, связанное с пересмотром характеристик в сторону использования тех, для которых горизонт насыщения смещается вправо, стало более популярным, и при построении индекса предпочтение отдавалось более продвинутому показателю развития ИКТ. Например, вместо количества подключений к сети интернет стало более распространенным количество широкополосных подключений к сети интернет. Например, уже в 2010 году авторы [6] использовали четыре стандартных технологических показателя наряду с широкополосным доступом в интернет на 100 человек для кластеризации стран и выявления групп лидеров и аутсайдеров. В [7] было предложено преобразование функции, значения которой потенциально стремятся к определенному пределу путем нормализации ее значений относительно устойчивого показателя разброса для снижения эффекта насыщения. Это решение не универсально, но оно могло бы снизить остроту проблемы в некоторых приложениях.

Изменения в структуре индексов, вызванные техническим прогрессом, привели к трансформации традиционных и наиболее популярных индексов для измерения развития ИКТ на уровне стран:

- Индекс развития ИКТ (IDI) от Международного союза электросвязи (ITU)¹;
- Индекс сетевой готовности (NRI) от бизнес-школы INSEAD²;
- Индекс цифровой экономики и общества (DESI) от Европейской комиссии³.

В настоящее время большинство составителей индексов склонны пересматривать методологию их построения в соответствие с быстро меняющейся технологической средой, несмотря на то, что при этом снижается возможность проводить долгосрочный динамический анализ. Для анализа и мониторинга развития ИКТ на субнациональном уровне в регионах России мы можем использовать данные, регулярно публикуемые Федеральной службой государственной статистики. До 2016 года в их состав входила переменная, характеризующая степень дифференциации субъектов Российской Федерации по интегральным показателям информационного развития. Но с 2017 года методология расчета этого показателя считается устаревшей по причинам, указанным выше, и данные по ней перестали публиковаться.

Экономические аспекты новых информационных технологий определяют необходимость использования современных технологий наряду с традиционными для моделирования цифрового взаимодействия. Этот метод был предложен в [9], где авторы представили непараметрическую модель границы эффективности для так называемых единиц принятия решений (Decision Maker Unit, или DMU). Эта модель была основана на идеях, высказанных в [10], и в настоящее время она известна как модель CCR, названная в честь ее авторов как совокупность начальных букв. Этот подход широко используется в различных приложениях [11]. Регионы в этом контексте можно рассматривать как единицы принятия решений при анализе их эффективности. Этот метод конкурирует с параметрическим методом стохастической границы (SFA), но имеет преимущество в виде меньших ограничений при его использовании. Для исследований в области развития ИКТ это может быть полезно для моделирования детерминированной границы эффективности и расчета показателя эффективности реальных и гипотетических объектов с использованием параметрических и непараметрических методов. Наиболее приемлемым из них для анализа эффективности развития универсальной подключенности региона является непараметрический анализ граничных данных, который позволяет оценить эффективность, достигнутую регионом в области внедрения новых информационно-коммуникационных технологий.

¹ *Measuring digital development. The ICT Development Index 2023. ITU Publications. <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/IDI2023/>*

² *Networked Readiness Index 2023. <https://networkreadinessindex.org/>*

³ *DESI 2023 dashboard for the Digital Decade <https://digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu/datasets/desi/charts>*

2. На пути к новой методологии оценки регионального развития информационно-коммуникационных технологий

Чтобы иметь возможность использовать результаты оценки регионального развития ИКТ в общемировом контексте, разумно выбрать в качестве основы существующую методологию оценки на страновом уровне. Сосредоточение внимания на технологических аспектах проблемы и своевременный учет новых реалий цифровизации привели к тому, что в 2023 году Международный союз электросвязи переработал Индекс развития ИКТ (IDI), и особенно его компонент в виде характеристики универсальной подключенности, которая может быть использована на практике в качестве самостоятельного индикатора, определяющего развитие информационно-коммуникационных технологий. Компоненты, используемые при формировании этого индикатора, который будем в дальнейшем называть индексом универсальной подключенности, в своей основе традиционны и имеют ясную интерпретацию. В качестве примера их значения для регионов Центрального федерального округа Российской Федерации приведены в таблице 1.

Таблица 1. Данные для оценки универсальной подключенности в регионах Центрального федерального округа России

Регионы Центрального федерального округа России	Признаки для расчета индекса универсальной цифровой подключенности		
	Число активных абонентов широкополосного доступа к сети Интернет на 100 жителей	Доля домохозяйств, имеющих доступ к сети Интернет из дома, %	Доля взрослых, которые пользовались Интернетом (из любого места) в последние 3 месяца, %
Белгородская обл.	104,3	78,1	86
Брянская обл.	93,2	81,1	86
Владимирская обл.	97,0	79,4	87
Воронежская обл.	100,1	90,4	94
Ивановская обл.	114,8	84,4	88
Калужская обл.	103,9	79,2	83
Костромская обл.	103,5	78,1	86
Курская обл.	101,8	83,4	89
Липецкая обл.	98,9	77,8	86
Московская обл.	133,0	89,7	94
Орловская обл.	101,5	76,5	80
Рязанская обл.	103,5	87,5	85
Рязанская обл.	106,8	81,2	86
Смоленская обл.	90,9	83,1	86
Тамбовская обл.	103,5	78,4	83
Тверская обл.	102,3	90,5	91
Тульская обл.	125,2	77,8	85
Ярославская обл. гор. Москва	133,0	96,7	96

Источник: <https://rosstat.gov.ru/statistics/infocommunity>

Эти данные как по регионам данного округа, так и по другим регионам доступны на сайте Федеральной службы государственной статистики России. Для проведения межуровневых сравнений по индексу универсальной подключенности, таких как сравнение регионов с отдельными странами, целесообразно придерживаться методологии стандартизации, предложенной в его новой версии. Это предполагает приведение значений, отражающих распространение новых технологий, к диапазону от 0 до 100 баллов. В то же время количество абонентов Интернета в расчете на одного жителя превышает единичное значение из-за возможности использования различных источников доступа к нему. В стандартизованном показателе значения, которые как достигли, так и превысили пороговое значение, фиксируются на уровне 100 баллов. Само верхнее пороговое значение определяется как 95%-й процентиль для всех стран. Это же значение можно использовать и на субнациональном уровне, чтобы можно было сравнивать регионы со странами мира. Доля домохозяйств, подключенных к Интернету из дома, а также доля взрослого населения, пользующегося Интернетом, в процессе преобразования в соответствующий нормализованный показатель имеют верхний предел в 95%. Этот предел определяет практически полное покрытие соответствующей технологией, превышение уровня которого допустимо, но не имеет реального

значения и поэтому фиксируется на максимальном уровне в 100 баллов. После корректировки у нас появились три новых скорректированных признака:

- X_1 Скорректированная доля активных абонентов мобильной широкополосной связи на 100 жителей, баллы (0-100),
- X_2 – Скорректированная доля домохозяйств, имеющих доступ к Интернету из дома, баллы (0-100),
- X_3 – Скорректированная доля лиц, которые пользовались Интернетом (из любого места) в последние 3 месяца, баллы (0-100).

Универсальный показатель подключенности определяется как средневзвешенное значение скорректированных характеристик. Весовые коэффициенты могут быть разными, но рассчитать их на основе мнений экспертов или методом главных компонентов сложно, и это создает больше проблем, чем преимуществ. Именно поэтому исследователи Международного союза электросвязи предложили считать их равными, а показатель универсальной связности следует рассчитывать как среднее значение скорректированных характеристик. Результаты применения этой методологии для регионов России представлены в первых трех и последнем столбцах таблицы 2.

Таблица 2. Скорректированные данные, результаты оболочечного анализа данных и оценка универсальной подключенности

Регионы России	X_1	X_2	X_3	Эффективность	Универсальная подключенность, баллы (0-100)
Белгородская обл.	69,53	82,21	90,53	0,91	80,8
Брянская обл.	62,13	85,37	90,53	0,91	79,3
Владимирская обл.	64,67	83,58	91,58	0,92	79,9
Воронежская обл.	66,73	95,16	98,95	0,99	86,9
Ивановская обл.	76,53	88,84	92,63	0,93	86,0
Калужская обл.	69,27	83,37	87,37	0,87	80,0
Костромская обл.	69,00	82,21	90,53	0,91	80,6
Курская обл.	67,87	87,79	93,68	0,94	83,1
Липецкая обл.	65,93	81,89	90,53	0,91	79,5
Московская обл.	88,67	94,42	98,95	0,99	94,0
Орловская обл.	67,67	80,53	84,21	0,84	77,5
Рязанская обл.	69,00	92,11	89,47	0,92	83,5
Смоленская обл.	71,20	85,47	90,53	0,91	82,4
Тамбовская обл.	60,60	87,47	90,53	0,91	79,5
Тверская обл.	69,00	82,53	87,37	0,87	79,6
Тульская обл.	68,20	95,26	95,79	0,96	86,4
Ярославская обл.	83,47	81,89	89,47	0,91	84,9
гор. Москва	88,67	100,00	100,00	1,00	96,2
Республика Карелия	75,00	85,16	90,53	0,91	83,6
Республика Коми	77,27	84,53	91,58	0,92	84,5
Архангельская область	73,27	86,74	91,58	0,92	83,9
Вологодская область	66,47	85,05	91,58	0,92	81,0
Калининградская область	74,67	94,95	96,84	0,97	88,8
Ленинградская область	90,87	89,05	93,68	0,97	91,2
Мурманская область	77,93	92,21	97,89	0,98	89,3
Новгородская область	68,80	79,89	85,26	0,85	78,0
Псковская область	67,27	77,79	87,37	0,87	77,5
г. Санкт-Петербург	90,87	92,00	97,89	1,00	93,6
Республика Адыгея	34,87	92,63	96,84	0,97	74,8
Республика Калмыкия	53,27	100,00	100,00	1,00	84,4
Республика Крым	63,07	87,58	94,74	0,95	81,8
Краснодарский край	83,67	93,79	97,89	0,98	91,8
Астраханская область	65,00	92,53	95,79	0,96	84,4
Волгоградская область	59,73	92,84	100,00	1,00	84,2
Ростовская область	67,67	92,74	95,79	0,96	85,4
г. Севастополь	0,80	93,79	98,95	0,99	64,5
Республика Дагестан	39,73	95,79	95,79	0,96	77,1
Республика Ингушетия	35,60	88,11	89,47	0,89	71,1
Кабардино-Балкарская Республика	50,00	97,58	96,84	0,98	81,5
Карачаево-Черкесская Республика	45,87	94,84	95,79	0,96	78,8
Республика Сев. Осетия-Алания	59,07	100,00	97,89	1,00	85,7

Регионы России	X ₁	X ₂	X ₃	Эффективность	Универсальная подключенность, баллы (0-100)
Чеченская Республика	43,60	100,00	100,00	1,00	81,2
Ставропольский край	59,00	90,00	94,74	0,95	81,2
Республика Башкортостан	65,07	91,79	94,74	0,95	83,9
Республика Марий Эл	66,00	82,32	85,26	0,85	77,9
Республика Мордовия	55,53	78,11	84,21	0,84	72,6
Республика Татарстан	78,20	100,00	100,00	1,00	92,7
Удмуртская Республика	69,40	88,74	92,63	0,93	83,6
Чувашская Республика	68,33	79,16	86,32	0,86	77,9
Пермский край	32,73	88,63	95,79	0,96	72,4
Кировская область	100,00	79,89	90,53	1,00	90,1
Нижегородская область	43,60	86,84	92,63	0,93	74,4
Оренбургская область	43,80	98,63	96,84	0,99	79,8
Пензенская область	100,00	84,74	88,42	1,00	91,1
Самарская область	68,27	86,21	91,58	0,92	82,0
Саратовская область	62,53	91,37	96,84	0,97	83,6
Ульяновская область	64,47	84,74	92,63	0,93	80,6
Курганская область	77,20	87,05	94,74	0,95	86,3
Свердловская область	74,87	86,53	94,74	0,95	85,4
Тюменская область	77,47	94,53	96,84	0,97	89,6
Челябинская область	68,00	95,26	94,74	0,95	86,0
Республика Алтай	69,00	96,21	93,68	0,96	86,3
Республика Тыва	41,27	97,79	94,74	0,98	77,9
Республика Хакасия	80,13	88,42	95,79	0,96	88,1
Алтайский край	69,07	90,84	92,63	0,93	84,2
Красноярский край	69,20	87,16	90,53	0,91	82,3
Иркутская область	76,67	94,74	94,74	0,95	88,7
Кемеровская область	67,60	86,42	91,58	0,92	81,9
Новосибирская область	75,47	90,95	95,79	0,96	87,4
Омская область	71,13	90,00	95,79	0,96	85,6
Томская область	69,13	78,11	89,47	0,89	78,9
Республика Бурятия	63,53	96,84	96,84	0,97	85,7
Республика Саха (Якутия)	63,93	99,79	100,00	1,00	87,9
Забайкальский край	63,53	88,74	92,63	0,93	81,6
Камчатский край	78,53	94,00	91,58	0,94	88,0
Приморский край	76,53	92,95	93,68	0,94	87,7
Хабаровский край	77,27	88,63	95,79	0,96	87,2
Амурская область	72,47	90,42	96,84	0,97	86,6
Магаданская область	72,80	100,00	100,00	1,00	90,9
Сахалинская область	84,53	93,37	96,84	0,97	91,6
Еврейская авт.область	64,27	81,58	87,37	0,87	77,7
Чукотский авт.округ	77,73	100,00	100,00	1,00	92,6

Источник: расчеты авторов по данным <https://rosstat.gov.ru/statistics/infocommunity> и <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/IDI2023/>

Наибольшее значение показателя имеет Москва (96,2), а наименьшее - Ингушетия (71,1). Тремя регионами, наиболее близкими к лидеру, являются Московская область (94,0), Санкт-Петербург (93,6) и Татарстан (92,7). Регионами с самыми низкими значениями индекса универсальной подключенности наряду с Ингушетией являются Пермь (72,4), Мордовия (72,6) и Адыгея (74,8).

Значение индекса универсальной подключенности является полезным инструментом для оценки прогресса в области внедрения ИКТ в повседневную жизнь. Но мы ищем альтернативный взгляд на этот процесс с точки зрения сравнительного анализа эффективности. Для этой цели мы можем использовать подход на основе оболочечного анализа данных, который определяет существующую границу эффективности в зависимости от реально существующих значений, характеризующих координацию в развитии различных аспектов цифровизации, а также значения для каждого из них в сравнении с наилучшими достигнутыми результатами. Для этого разумно использовать оболочечный анализ данных, ориентированный на выход, с тремя выходами, представленными всеми тремя скорректированными функциями, и универсальным единичным входом для регионов, рассматриваемых в качестве единиц принятия решений. Результаты в виде показателей

эффективности для каждого региона представлены в предпоследнем столбце таблицы 2. Одиннадцать регионов определяют границы эффективности. Два из них (Москва и Татарстан) одновременно входят и в тройку лидеров по показателю универсальной подключенности. Другие регионы, находящиеся на границе эффективности (Калмыкия, Волгоград, Северная Осетия-Алания, Чечня, Киров, Пенза, Саха (Якутия), Магадан, Чукотка), имеют не самое лучшее значение показателя универсальной подключенности, но достаточно высокие показатели по крайней мере по двум из трех ее скорректированных характеристик.

Наиболее удаленными от границы с соответствующими значениями эффективности являются Орловская и Мордовская области (0,84), Новгородская обл. и Республика Марий Эл (0,85). В то же время, Орловская, Новгородская области и Республика Марий Эл имеют не самые худшие значения показателя универсальной подключенности. Это показывает возможность сравнительного анализа регионов с другой точки зрения, когда веса объектов в процессе агрегирования рассчитываются автоматически в соответствии с подходом оболочечного анализа данных.

Анализ эффективности служит важным инструментом бенчмаркинга. В то же время преимущество индекса универсальной подключенности заключается в его относительно простоте, позволяющей сравнивать объекты разного уровня иерархии, такие как регионы и страны. Пример такого сравнительного анализа представлен в таблице 3 для одного из федеральных округов Российской Федерации.

Таблица 3. Сравнение регионов России и стран мира по показателю универсальной подключенности (фрагмент)

Регионы Центрального федерального округа	Индекс универсальной подключенности для регионов России и стран мира		
	Индекс универсальной подключенности, регионов, баллы (0-100)	Страны с ближайшими значениями индекса универсальной подключенности	Индекс универсальной подключенности стран, баллы (0-100)
Белгородская обл.	80,8	Czech Republic	80,8
Брянская обл.	79,3	Turkey	79,2
Владимирская обл.	79,9	Malta	80,0
Воронежская обл.	86,9	New Zeland	87,4
Ивановская обл.	86,0	Kazakhstan	85,9
Калужская обл.	80,0	Malta	80,0
Костромская обл.	80,6	Serbia	80,4
Курская обл.	83,1	Croatia	83,1
Липецкая обл.	79,5	Turkey	79,2
Московская обл.	94,0	Malaysia	94,5
Орловская обл.	77,5	Montenegro	77,1
Рязанская обл.	83,5	Uzbekistan	83,6
Смоленская обл.	82,4	Cyprus	82,4
Тамбовская обл.	79,5	Morocco	79,5
Тверская обл.	79,6	Morocco	79,5
Тульская обл.	86,4	Kazakhstan	85,9
Ярославская обл.	84,9	Lybia	85,1
гор. Москва	96,2	Netherland	96,5

Источник: расчеты авторов по данным <https://rosstat.gov.ru/statistics/infocommunity> и <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/IDI2023/>

Орловская область с самым низким значением индекса универсальной подключенности (0,75) соответствует в этом смысле Черногории, а город Москва имеет практически такой же показатель (96,2), как и Нидерланды (96,5).

3. Заключение

Опыт разработки различных показателей проникновения информационно-коммуникационных технологий в экономику и общество достаточно велик и дает возможность отслеживать этот процесс. Но новые волны как быстрых технологических изменений, так и создания новых методов и инструментов для анализа данных заставляют нас модифицировать существующие методы и создавать новые. Использование традиционных показателей дает возможность изучать долгосрочные процессы технологического развития, а внесение разумных изменений в методологию позволяет

сделать мониторинг более информативным. Данные для анализа также имеют тенденцию к быстрому росту, поэтому у нас есть возможность использовать набор индексов и применять их для различных целей. Важность инфраструктурных аспектов развития информационно-коммуникационных технологий очевидна, именно поэтому мы должны уделять дополнительное внимание мониторингу в этой сфере. Универсальная оценка подключенности в различных формах дает нам такую возможность и выглядит многообещающей. В то время как показатель универсальной подключенности позволяет проводить межуровневое сравнение стран и их регионов, эффективность, оцененная на основе оболочечного анализа данных, обеспечивает информационную поддержку для принятия решений по повышению уровня проникновения информационно-коммуникационных технологий в повседневную жизнь людей.

Литература

1. *Dewan S., Ganley D., Kraemer K.* Complementarities in the Diffusion of Personal Computers and the Internet: Implications for the Global Digital Divide // *Information Systems Research*. – 2010. – Vol. 21, N 4. – P. 925–940.
2. *Chinn M.D., Fairlie R.W.* The Determinants of the Global Digital Divide: A Cross-Country Analysis of Computer and Internet Penetration // *Oxford Economic Papers. New Series*. – 2007. – Vol. 59, N 1. – P. 16–44.
3. *Cuervo M., Menendez A.* A multivariate framework for the analysis of the digital divide: Evidence for the European Union-15 // *Information & Management*. – 2006. – Vol. 43, N 6. – P. 756–766.
4. *Doong S.H., Ho S.-C.* The impact of ICT development on the global digital divide // *Electronic Commerce Research and Applications*. – 2012. – Vol. 11 – P. 518–533.
5. *Bagchi K.* Factors Contributing to Global Digital Divide: Some Empirical Results // *Journal of Global Information Technology Management*. – 2005. – Vol. 8, N 3. – P. 47–65.
6. *Ayanso A., Cho D.I., Lertwachara K.* Information and communications technology development and the digital divide: a global and regional assessment // *Information Technology for Development*. – 2007. – Vol. 20, N 1. – P. 60–77.
7. *Skaletsky M., Soremekun O., Galliers R.D., Haughton D.* Exploring the Predictors of the International Digital Divide // *Journal of Global Information Technology Management*. – 2016. – Vol. 19, N 1. – P. 44–67.
8. *Sirotin V., Arkhipova M.* Measuring the information development and its differentiation in modern Russia // *Proc. of the 14th European Conference on Innovation and Entrepreneurship ECIE-2019, Part 2*. – Reading, 2019. – P. 967–973.
9. *Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E.* Measuring the efficiency of decision making units // *European Journal of Operational Research*. – 1978. – Vol. 2. – P. 429–444.
10. *Farelli M.J.* The measurement of productivity efficiency // *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General), Part III*. – 1957. – Vol. 120. – P. 253–281.
11. *Emrouznejad A., Petridis P., Charles V.* *Data Envelopment Analysis with GAMS: A Handbook on Productivity Analysis, and Performance Measurement*. – Springer, 2023.